

# REVUE TECHNIQUE

DE

# L'EXPOSITION UNIVERSELLE

# 1889

PARIS



E. BERNARD & Cie ÉDITEURS


·EX·LIBRIS·
LILY

# DEUXIÈME PARTIE

---

# LA CONSTRUCTION

# REVUE TECHNIQUE

DE

# L'EXPOSITION UNIVERSELLE

# DE 1889

PAR UN COMITÉ D'INGÉNIEURS, DE PROFESSEURS
D'ARCHITECTES ET DE CONSTRUCTEURS

**CH. VIGREUX, FILS**
Ingénieur des Arts et Manufactures
Inspecteur du Service mécanique et électrique à l'Exposition Universelle de 1889
**Secrétaire de la Rédaction**

## ORGANE OFFICIEL

DU CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE

**Tenu à Paris du 16 au 21 Septembre 1889**




PARIS

E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-EDITEURS

*53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter*

1893

# DEUXIÈME QUESTION

---

# ÉTUDE

SUR LES

# ESSAIS DES FERS ET DES ACIERS

---

## RAPPORT DE M. E. CORNUT

INGÉNIEUR EN CHEF DE L'ASSOCIATION DES PROPRIÉTAIRES
D'APPAREILS A VAPEUR DU NORD DE LA FRANCE

Les métaux employés dans la construction des machines doivent présenter des propriétés très différentes, suivant la nature du travail que devra supporter l'organe à construire.

La pratique a prouvé que les qualités des métaux que l'on doit étudier, pour satisfaire aux divers besoins de la mécanique, peuvent se résumer dans les suivantes :

Ténacité — élasticité — homogénéité — ductilité et soudabilité.

Il me paraît donc nécessaire, en commençant ce travail, de rechercher les usages qui ont prévalu dans la pratique pour procéder à la réception des fers et aciers, c'est-à-dire pour s'assurer que les métaux présentent bien les qualités exigées par les cahiers des charges.

L'État pour ses différents services, la Marine, l'Artillerie, etc., et les Compagnies de chemins de fer, ont des cahiers des charges fort bien étudiés ; nous allons rapidement les passer en revue.

Dans ce travail, je ne dois examiner que ce qui touche à la Mécanique proprement dite, je ne m'occuperai donc que de la réception des fers de forge, tôles de fer, tôles d'acier, aciers divers.

---

# Marine Française

## TOLES DE FER

La Marine française a, par une circulaire ministérielle en date du 17 février 1868, classé les tôles de fer nécessaires à ses différents usages en quatre catégories.

1re catégorie : *Tôles communes.* — Désignation commerciale : *Tôles communes améliorées.*

2e catégorie : *Tôles ordinaires.* — Désignation commerciale : *Fers forts.*

3e catégorie : *Tôles supérieures.* — Désignation commerciale : *Fers forts supérieurs.*

4e catégorie : *Tôles fines.* — Désignation commerciale : *Tôles forgées, ôles aux bois.*

Cette administration soumet ces métaux à deux séries d'épreuves, des essais à chaud et des essais à froid.

### ÉPREUVES A CHAUD

*Tôles communes.* — Il sera exécuté avec un morceau de tôle de dimension convenable, découpé dans une feuille prise au hasard dans chaque livraison, un cylindre ayant pour hauteur et pour diamètre intérieur, vingt-cinq fois l'épaisseur de la tôle. Ce cylindre, exécuté avec le soin convenable, ne devra présenter ni fentes ni gerçures.

Cette expérience sera faite pour toutes les tôles d'épaisseurs différentes, elle pourra être renouvelée, si la commission de recette le juge nécessaire.

*Tôles ordinaires.* — Il sera exécuté, avec un morceau de tôle de dimension convenable, découpé dans une feuille prise au hasard dans chaque livraison, une calotte sphérique avec bord plat conservé dans le plan primitif de la tôle. La corde de cette calotte, mesurée intérieurement, sera égale à trente fois l'épaisseur de la tôle, et sa flèche, mesurée intérieurement, sera égale à cinq fois cette même épaisseur. Le bord plat circulaire de cette pièce aura pour longueur sept fois l'épaisseur de la tôle et sera raccordé à la partie sphérique par un congé, ayant pour rayon l'épaisseur même de la tôle. Ce congé sera mesuré dans l'intérieur de l'angle.

La calotte, ainsi exécutée avec tout le soin nécessaire, ne devra présenter ni fente ni gerçures.

Cette expérience sera faite pour toutes les tôles d'épaisseurs différentes : elle pourra être renouvelée si la commission de recette le juge nécessaire.

*Tôles supérieures.* — Il sera exécuté, avec un morceau de tôle de dimension convenable, découpé dans une feuille prise au hasard dans chaque livraison, une calotte sphérique avec bord plat conservé dans le plan primitif de la tôle. La corde de cette calotte, mesurée intérieurement, sera égale à trente fois l'épaisseur de la tôle, et la flèche, mesurée aussi intérieurement, sera égale à dix fois cette même épaisseur. Le bord plat circulaire de cette pièce aura pour largeur sept fois l'épaisseur de la tôle, et sera raccordé à la partie sphérique par un congé, ayant pour rayon l'épaisseur même de la tôle. Ce congé sera mesuré dans l'intérieur de l'angle.

La calotte, ainsi exécutée avec tout le soin nécessaire, ne devra présenter ni fente ni gerçures.

Cette expérience sera faite pour toutes les tôles d'épaisseurs différentes ; elle pourra être renouvelée si la commission de recette le juge nécessaire.

*Tôles fines.* — Il sera exécuté, avec un morceau de tôle de dimension convenable, découpé dans une feuille prise au hasard dans chaque livraison, une calotte sphérique, avec bord plat, conservé dans le plan primitif de la tôle. La corde de cette calotte, mesurée intérieurement, sera égale à trente fois l'épaisseur de la tôle, et la flèche, mesurée aussi intérieurement, sera égale à quinze fois cette même épaisseur. Le bord plat circulaire de cette pièce aura pour largeur sept fois l'épaisseur de la tôle, et sera raccordé à la partie sphérique par un congé ayant pour rayon l'épaisseur même de la tôle. Ce congé sera mesuré dans l'intérieur de l'angle.

La calotte, ainsi exécutée avec tout le soin nécessaire, ne devra présenter ni fentes ni gerçures.

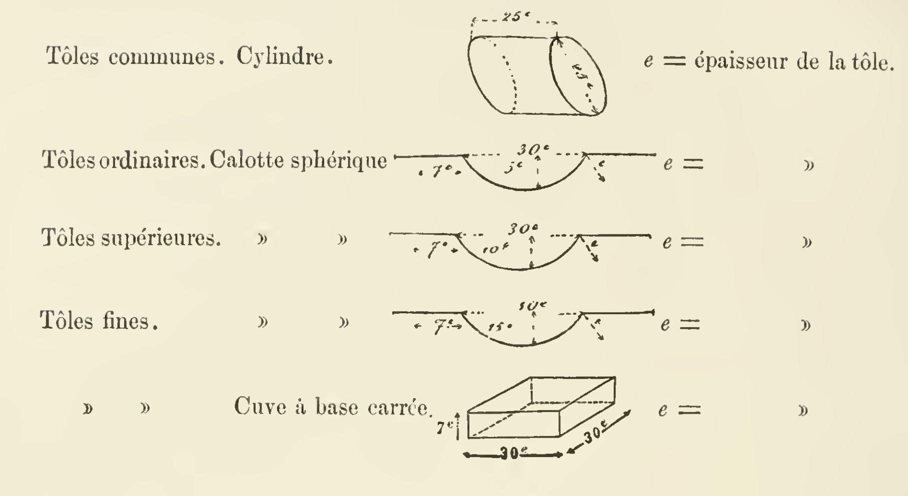
En outre, il sera confectionné avec un second morceau de tôle pris dans la même feuille ou dans une seconde feuille, une cuve à base carrée et à bords relevés d'équerre ; le fond de cette cuve aura pour côté trente fois l'épaisseur de la tôle, et les bords, mesurés en dedans, auront pour hauteur sept fois cette même dimension.

Ces bords seront raccordés entre eux et avec le fond par un congé qui, mesuré dans l'intérieur de l'angle, aura pour rayon l'épaisseur même de la tôle. La cuve ainsi exécutée, ne devra présenter ni fentes, ni gerçures, et il ne devra s'y manifester aucune trace de dédoublure.

Ces deux expériences seront faites pour toutes les tôles d'épaisseurs différentes ; elles pourront être renouvelées si la commission de recette le juge nécessaire.

Nous résumons dans un tableau les essais à chaud de la Marine :

TABLEAU DES ÉPREUVES A CHAUD




ÉPREUVES A FROID.

Les épreuves à froid comprennent seulement des essais à la traction, il nous suffira donc d'indiquer la manière d'opérer pour une des qualités de tôles.

*Épreuves à froid.* — Ces épreuves consisteront à déterminer la force de rupture des tôles et leur faculté d'allongement, tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire.

On établira séparément des résultats moyens de résistance et d'allongement, obtenus dans chacun de ces deux sens, au moyen de cinq épreuves au moins pour chacun d'eux.

Dans le sens qui aura donné la moindre résistance, la charge de rupture moyenne, par millimètre carré de section, sera d'au moins. . . . . . . . . kilogrammes, et l'allongement moyen correspondant d'au moins . . . . . . . . pour cent.

En outre, aucune épreuve isolée, faite sur une bande reconnue saine, ne devra donner un résultat inférieur à ....... kilogrammes par millimètre carré, ni un allongement inférieur à ....... pour cent.

Pour ces épreuves, on découpera des bandes de tôle dans un certain nombre de feuilles prises au hasard, dans chaque livraison, en ayant soin d'expérimenter pour chaque feuille un nombre égal de bandes dans le sens du laminage, et dans le sens perpendiculaire. Ces bandes seront façonnées de manière à avoir pour section de rupture un rectangle, dont l'un des côtés aura 30 millimètres de largeur et l'autre l'épaisseur de la tôle. Par exception, pour les tôles minces au-dessous de 5 millimètres, la largeur de la bande d'épreuve sera réduite à 20 millimètres. La longueur de la partie prismatique soumise à la traction sera toujours de 200 millimètres.

Ces bandes seront soumises, au moyen de poids agissant directement ou par l'intermédiaire de leviers tarés avec soin, à des efforts de traction croissant jusqu'à ce que la rupture ait lieu.

La charge initiale sera calculée de manière à produire un effort de traction de ...... kilogrammes par millimètre carré de section ; cette première charge sera maintenue en action pendant cinq minutes. Les charges additionnelles seront ensuite placées à des intervalles de temps sensiblement égaux et d'environ une minute. Elles seront calculées, aussi approximativement que le permettra la division des poids en usage, à raison de un quart de kilogramme de traction par millimètre carré de section.

On notera, pour chaque charge, l'allongement correspondant mesuré sur la longueur prismatique de 20 centimètres.

Lorsque les tôles présentées en recettes seront des bandes pour barrots, élongis, entremises, barrotins, ceintures et banquières de plus de 5 mètres de longueur et de moins de $0^{m},50^{cm.}$ de largeur, les moyennes des résultats obtenus ne devront pas être inférieures aux chiffres suivants :

| | En long. | En travers. |
|---|---|---|
| Charge de rupture par millimètre carré de section. — | | |
| *Tôles communes* . . . . . . . . . . . . | $32^k$ | $26^k$ |
| *Tôles ordinaires* . . . . . . . . . . . . | $34^k$ | $28^k$ |
| Allongement correspondant à cette charge. — *Tôles communes*. . . . . . . . . . . . . . | 6 p. % | 2,5 p. % |
| *Tôles ordinaires*. . . . . . . . . . . . | 9 p. % | 3,5 p. % |

Les livraisons qui ne satisferont pas à ces conditions seront rebutées.

Le tableau ci-dessous donne les charges et allongement imposés par la Marine, pour les différentes natures de tôles de fer.

| | SANS LA MOINDRE RÉSISTANCE | | MINIMUM dans les épreuves isolées | | Charge initiale. |
|---|---|---|---|---|---|
| | Moyenne de la résist. par m/m2 de section. | Allongem. moyen 0/0. | Résistance par m/m2 de section. | Allongem. 0/0. | |
| | kil. | | kil. | | kil. |
| Tôles communes. . . . | 28 | 3.5 % | 25 | 2.5 % | 25 |
| Tôles ordinaires.. . . . | 31 | 5 » | 28 | 4 » | 28 |
| Tôles supérieures. . . . | 32 | 7 » | 29 | 5.5 » | 29 |
| Tôles fines . . . . . . | 35 | 10 » | 30 | 7 5 » | 29 |

## TOLES D'ACIER

Une instruction du Ministre de la Marine, en date du 9 février 1885, modifiant les anciennes circulaires de 1876 et 1877, fixe les conditions des épreuves de recette des tôles et barres profilées en acier.

Pour s'assurer de la qualité des tôles et bandes d'acier, il sera fait trois sortes d'épreuves : 1° des épreuves à froid ; 2° des épreuves à chaud ; 3° des essais de trempe.

### 1° Épreuves a froid.

Ces épreuves auront pour but de déterminer la résistance à la rupture, et la faculté d'allongement du métal, tant dans le sens du laminage, que dans le sens perpendiculaire (toutefois, quand la largeur sera suffisante).

On établira séparément les résultats moyens de résistance et d'allongement obtenus dans ces deux sens, au moyen de cinq épreuves au moins pour chacun d'eux.

Pour ces épreuves on découpera des barrettes dans un certain nombre de feuilles ou bandes prises au hasard dans chaque livraison. Ces barrettes seront façonnées de manière à avoir pour section un rectangle, dont le petit côté aura l'épaisseur de la tôle, et dont le grand côté aura 30 millimètres pour les tôles de 4 millimètres et au-dessus, et 20 millimètres pour les tôles de moins de 4 millimètres, c'est-à-dire pour les tôles dites minces. Toutefois, pour les tôles de 20 millimètres et au-dessus, la largeur devra être la même que l'épaisseur, de sorte que la section de la barrette sera un carré ayant cette épaisseur pour côté.

La longueur de la partie prismatique soumise à la traction sera toujours exactement de 20 centimètres, et délimitée par deux coups de pointeau, à partir desquels il y aura un congé de raccordement avec les têtes, de telle sorte que la rupture ait toujours lieu en dedans des coups de pointeau.

Dans aucun cas les barrettes ne devront être recuites, après avoir été détachées des feuilles de tôles.

Chaque barrette sera soumise à une charge initiale déterminée, de manière à produire un effort de traction égal aux 8/10 de l'effort de rupture, calculé d'après les données du tableau ci-après. Cette première charge sera maintenue en action pendant une minute, à moins qu'au bout de ce laps de temps, la barrette continue à s'allonger ; on attendra pour ajouter une charge, la fin de l'allongement.

On ajoutera de quart en quart de minute, des charges successives à raison de 1/2 kilogramme par millimètre carré de section ; ces intervalles devront toujours être prolongés, quand il y aura lieu, c'est-à-dire de telle sorte

qu'une charge nouvelle ne soit jamais ajoutée, tant que la barrette continue à s'allonger sous la charge précédente. On notera, pour chaque charge, l'allongement correspondant, mesuré sur la longueur entre pointeaux de 20 centimètres.

Aucune barrette d'épreuve reconnue saine ne devra se rompre sous la charge initiale, quel que soit l'allongement correspondant, ni donner un allongement final inférieur aux 8/10 de l'allongement final moyen exigé, quelle que soit la charge de rupture correspondante.

Les charges de rupture moyennes *minima* par millimètre carré de la section primitive, et les allongements p. % moyens *minimum* exigés des barrettes soumises aux épreuves, sont donnés par le tableau n° 1 ci-après, pour les tôles, et par le tableau n° 2 pour les bandes ou couvre-joints.

On remarquera que pour les tôles, il n'est pas fait de distinction entre les résultats qu'on devra exiger dans le sens longitudinal et dans le sens transversal. Les chiffres du tableau n° 1 devront être obtenus aussi bien dans un sens que dans l'autre.

Il n'en est pas de même pour les bandes. Ici, en effet, par le mode de laminage, la résistance et l'allongement dans le sens longitudinal doivent être plus grands que dans le sens transversal ; de plus, pour les bandes étroites, on ne pourra pas, dans la plupart des cas, détacher des barrettes dans le sens transversal. C'est pourquoi le tableau n° 2 porte des coefficients différents dans les deux sens.

TABLEAU N° 1

*Tôles*

| ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | TÔLES pour construction. | | TÔLES pour chaudières | |
|---|---|---|---|---|
| | charge moyenne minima. | allongem. final moyen minimum pour cent. | charge moyenne minima. | allongem. final moyen minimum pour cent. |
| | kg. | | kg. | |
| De 1 1/2 à 2 exclusivement.......... | 47 | 10 | » | » |
| De 2 à 3 id. .......... | 46 | 13 | » | » |
| De 3 à 4 id. .......... | 45 | 16 | » | » |
| De 4 à 6 id. .......... | 45 | 18 | 45 | 22 |
| De 6 à 8 id. .......... | 43 | 21 | 42 | 25 |
| De 8 à 20 id. .......... | 42 | 22 | 42 | 26 |
| De 20 à 30 inclusivement............. | 42 | 24 | 40 | 26 |

Il sera accordé, sur les résistances moyennes *minima*, une tolérance pouvant aller jusqu'à 2 kilogrammes, pourvu que ce déficit soit compensé par un accroissement d'allongement, de telle sorte que la somme des résistances et des allongements portés au tableau ne soit pas diminuée. Il ne sera accordé aucune tolérance en moins sur les allongements.

TABLEAU N° 2

*Bandes ou couvre-joints*

| ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES | EN LONG | | EN TRAVERS | |
|---|---|---|---|---|
| | charge moyenne minima. | allongem. final moyen minimum pour cent. | charge moyenne minima. | allongem. final moyen minimum pour cent. |
| | kg. | | kil. | |
| De 1/2 à 4 exclusivement............ | 47 | 13 | 45 | 12 |
| De 4 à 6 id. ........... | 46 | 19 | 44 | 17 |
| De 5 à 8 id. ........... | 44 | 22 | 42 | 20 |
| De 8 à 20 id. ............ | 43 | 23 | 41 | 21 |
| De 20 à 30 inclusivement........... | 43 | 25 | 41 | 23 |

Il est accordé sur les résistances une tolérance en moins dans les mêmes limites, et avec les mêmes compensations en allongement, que pour les tôles.

2° ÉPREUVES A CHAUD.

L'épreuve consistera à exécuter avec un morceau de tôle de dimensions convenables, une calotte hémisphérique avec bord plat conservé dans le plan primitif de la tôle.

Le diamètre de la demi-sphère, mesuré intérieurement, sera égal à 40 fois l'épaisseur de la tôle, et le bord plat circulaire aura pour largeur 10 fois cette même dimension ; ce bord plat sera raccordé à la partie sphérique, par un congé dont le rayon mesuré dans l'intérieur de l'angle sera, au maximum égal à l'épaisseur de la tôle.

En outre, pour les tôles de plus de 5 millimètres d'épaisseur, il pourra être confectionné une cuve à base carrée, à bords relevés d'équerre ; la base de cette cuve aura pour côté trente fois l'épaisseur de la tôle, et les bords mesurés en dedans auront pour hauteur dix fois cette même épaisseur. Le fond de cette cuve sera percé, au milieu, d'un trou circulaire, avec bords relevés perpendiculairement au plan du fond, et du côté opposé à celui des bords de la cuve. Le dia-

mètre de ce trou, mesuré intérieurement après travail fini, sera de vingt fois l'épaisseur de la tôle, et la hauteur du bord relevé sera de cinq fois cette même épaisseur. Tous les angles seront arrondis ; leur congé intérieur aura pour rayon l'épaisseur de la tôle.

Les pièces ainsi exécutées, avec toutes les précautions qu'exige le travail de l'acier, ne devront présenter ni gerçures, ni fentes, lors même qu'elles auront été refroidies dans un courant d'air vif.

L'épreuve de la cuve n'est pas obligatoire. Elle est laissée à l'appréciation de l'Ingénieur chargé de la recette.

### 3° Essais de trempe.

Pour ces essais, on découpera, dans les feuilles de tôles présentées en recette, des barreaux de 26 centimètres de longueur sur 4 centimètres de largeur, tant dans le sens du laminage que dans le sens du travers ; pour les bandes et les couvre-joints, ils ne seront pris que dans le sens de la longueur. Les barreaux préparés pour ces essais ne devront pas avoir leurs rives longitudinales arrondies ; on tolérera seulement que l'acuité des angles soit enlevée à la lime douce. Ils seront chauffés uniformément, de manière à être amenés au rouge cerise un peu sombre, puis trempés dans l'eau à 28°. Ainsi préparés, ils devront pouvoir prendre, sous l'action de la presse, sans présenter de traces de rupture, une courbe permanente dont le rayon *minimum*, mesuré intérieurement, ne devra pas être supérieur à l'épaisseur du barreau expérimenté.

Ces mêmes barreaux, lorsqu'il s'agira de tôles pour chaudières, devront pouvoir, sous l'action de la presse et sans présenter de traces de rupture, être pliés en deux à plat, de manière que les deux moitiés soient complètement appliquées l'une sur l'autre.

Les tôles qui ne satisferont pas aux conditions détaillées ci-dessus seront rebutées.

---

## Essais de la Marine Royale Anglaise

Dans la Marine Royale Anglaise et dans le cas de navires construits pour le Gouvernement par des particuliers, les matières subissent un examen approfondi et sévère que M. Reed résume ainsi : Le fer est fourni par les fabricants sous la condition des épreuves suivantes qui se font, autant que possible, de la même façon dans les établissements publics et privés sous la surveillance des officiers de l'Amirauté.

FERS POUR TÔLES (1re CLASSE) BB (BEST-BEST. — TÔLES SUPÉRIEURES).
EFFORT DE RÉSISTANCE PAR MILLIMÈTRE CARRÉ. — EN LONG 35 KIL. —
EN TRAVERS 28 KIL.

*Epreuves de forge, à chaud.*

Toutes les tôles supérieures de 25 millimètres d'épaisseur et au-dessous, doivent être assez ductiles pour se ployer à chaud sans rupture, sous les angles de 125° en long et 90° en travers.

*Epreuves de forge, à froid.*

Toutes les tôles supérieures doivent subir sans rupture, les angles suivants, en long ou dans le sens des fibres :

| | |
|---|---|
| Tôles de 25 millimètres et 23 m/m 5 d'épaisseur . . . . | 15° |
| — 22 et 20,5 . . . . . . . . . . . . . . . . | 20° |
| — 19 et 17 . . . . . . . . . . . . . . . . | 25° |
| — 15,5, 14 et 12,5. . . . . . . . . . . . . | 35° |
| — 11 et 9 . . . . . . . . . . . . . . . . | 50° |
| — 7,5 et 6 . . . . . . . . . . . . . . . . | 70° |
| — 4,5 et au-dessous. . . . . . . . . . . . | 90° |

En travers ou perpendiculairement aux fibres :

| | |
|---|---|
| Tôles de 25, 23,5, 22 et 20,5 . . . . . . . . . . . | 5° |
| — 19 et 17 . . . . . . . . . . . . . . . . | 10° |
| — 15,5, 14 et 12,5. . . . . . . . . . . . . | 15° |
| — 11 et 9 . . . . . . . . . . . . . . . . | 20° |
| — 7,5 et 6 . . . . . . . . . . . . . . . . | 30° |
| — 4,5 et au-dessous. . . . . . . . . . . . | 40° |

FERS POUR TÔLES (SECONDE CLASSE) B. (BEST. — TÔLES ORDINAIRES).
EFFORT DE RÉSISTANCE PAR MILLIM. CARRÉ. — EN LONG, 31 K. 5. —
EN TRAVERS, 26 K. 5.

*Epreuves de forge, à chaud.*

Toutes les tôles ordinaires de 25 millimètres d'épaisseur et au-dessous doivent être assez ductiles pour se ployer à chaud sans rupture, aux angles suivants : en long 90° et en travers 60°.

*Épreuves de forge, à froid.*

Angles à supporter sans rupture ; en long :

| | | |
|---|---|---|
| Tôles de | 25 et 23,5 | 10° |
| — | 22 et 20,5 | 15° |
| — | 19 et 17 | 20° |
| — | 15,5, 14 et 12,5 | 30° |
| — | 11 et 9 | 45° |
| — | 7,5 et 6 | 55° |
| — | 4,5 et au-dessous | 75° |

En travers :

| | | |
|---|---|---|
| Tôles de | 19 et 17 | 5° |
| — | 15,5 14 et 12,5 | 10° |
| — | 11 et 9 | 15° |
| — | 7,5 et 6 | 20° |
| — | 4,5 et au-dessous | 30° |

« Les tôles à froid, comme à chaud, seront essayées sur une table en fonte « présentant une surface plane, le bord coupé à angle droit, l'arête arrondie « avec un rayon de 12 millim. 5.

« Le morceau de tôle essayé à froid comme à chaud, doit avoir $1^{m}20$ « de long pour le grand côté du rectangle, et toute la largeur de la tôle pour « les épreuves dans l'autre sens. Les tôles seront ployées à une distance de l'a- « rête comprise entre 7,5 et 15 centimètres. Il est entendu que tous les fers de- « vront pouvoir subir les épreuves ci-dessus, quand on les prend dans les di- « mensions déjà définies, s'il est nécessaire d'essayer d'aussi grandes pièces ; « mais un morceau plus petit répondra généralement à tous les besoins. Toutes « les tôles seront exemptes de tout défaut de laminage et de toute imperfection « de surface. On devra prendre au hasard une tôle dans chaque épaisseur, à « chaque livraison, pourvu que le nombre des feuilles livrées ne dépasse pas 50. « Au-dessus de ce chiffre on en prend une autre par chaque cinquantaine ou « fraction de cinquantaine. Quand on livre en même temps des tôles de plu- « sieurs épaisseurs et qu'il n'y a que peu de tôles de chaque épaisseur, on peut « se dispenser de faire un essai particulier pour chacune d'elles ; mais aucun lot « ne peut être rebuté si l'on n'a éprouvé une tôle de ce lot. »

Toutes les tôles doivent porter le nom du fabricant et l'indication de la qualité.

### TOLES ET CORNIÈRES D'ACIER

« Les épreuves de traction et de forge que l'acier doit subir sont les sui- « vantes :

| | | |
|---|---|---|
| « Résistance en kilog. par millimètre carré.. | En long | 52 kil. |
| | En travers | 47 kil. |

« en aucun cas la résistance ne doit dépasser 63 kil. par millimètre carré.

*Epreuves de forge à chaud.* — Angle à supporter en long, 140°, en travers 110°.

*Epreuves de forge à froid.* — Toutes les tôles devront pouvoir être ployées à froid sans déchirure, sous les angles suivants :

| En long | | | En travers | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 millimètres | . . . . . | 30° | 25 millimètres | . . . . . | 20° |
| 22 » | . . . . . . | 40° | 22 » | . . . . . . | 25° |
| 19 » | . . . . . . | 50° | 19 » | . . . . . . | 30° |
| 15,5 » | . . . . . . | 60° | 15,5 » | . . . . . . | 35° |
| 12,5 » | . . . . . . | 70° | 12,5 » | . . . . . . | 40° |
| 11 » | . . . . . . | 75° | 11 » | . . . . . . | 50° |
| 9 » | . . . . . . | 80° | 9 » | . . . . . . | 60° |
| 7,5 » | . . . . . . | 85° | 7.5 » | . . . . . . | 65° |
| 6 » | et au-dessous. | 90° | 6 » | . . . . . . | 70° |

---

# Compagnies de chemins de fer

Les Compagnies de chemins de fer emploient le fer et l'acier pour les usages les plus variés de la mécanique ; il m'a donc paru très intéressant de donner communication de leurs cahiers des charges dans les parties les plus importantes qui concernent les essais des fers de forge, des tôles de fer et d'acier.

## *Compagnie des Chemins de fer de l'Est*

### FERS DE FORGE

Les fers de forge sont classés en cinq qualités, savoir :

Qualité spéciale à *rivets* « *dite fer de Suède* » correspondant à l'indice R.

1re qualité « *dite fer fin au bois* » correspondant à l'indice B ;

2e qualité « *dite fer fort supérieur* » correspondant à l'indice S ;

3e qualité « *dite fer fort* » correspondant à l'indice F ;

4e qualité « *dite fer ordinaire* » correspondant à l'indice O ;

Chaque qualité se subdivise elle-même en 3 catégories :

1° En fers à grain correspondant à l'indice G.

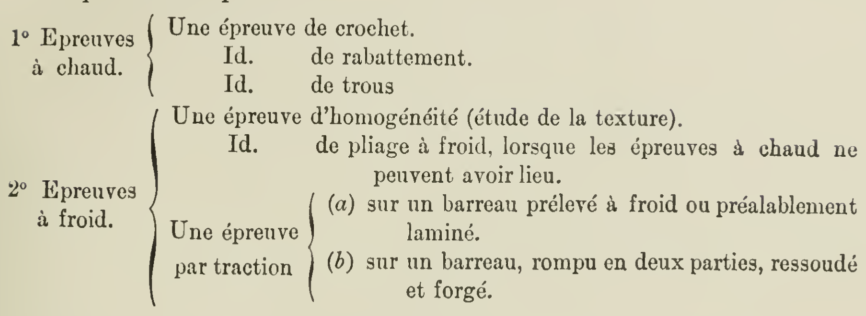
2° En fers à nerf » » N.

3° En fers mixtes » » M.

Les textures doivent correspondre à ces catégories.

## ESSAIS

Chaque essai comprend :



1° Epreuves à chaud.
- Une épreuve de crochet.
- Id. de rabattement.
- Id. de trous

2° Epreuves à froid.
- Une épreuve d'homogénéité (étude de la texture).
- Id. de pliage à froid, lorsque les épreuves à chaud ne peuvent avoir lieu.
- Une épreuve par traction
  - (*a*) sur un barreau prélevé à froid ou préalablement laminé.
  - (*b*) sur un barreau, rompu en deux parties, ressoudé et forgé.

Les morceaux d'essais sont prélevés au choix des agents réceptionnaires dans les barres désignées par eux et cisaillées en leur présence.

*Epreuve d'homogénéité.* — Pour cet essai, les barres sont entaillées au burin ou à la tranche, et rompues brusquement par des coups frappés en porte à faux avec des marteaux à devant.

Les cassures doivent être sans aucun défaut et présenter la caractéristique parfaite de la texture demandée par le marché ou la commande.

Dans les fers à grain, le grain doit être uniforme, demi-fin, de couleur gris-clair, sans présenter de facettes larges et brillantes.

Dans les fers à nerf, le nerf doit être blanc, délié, allongé et sans éclat, les fibres ne seront ni courtes, ni noirâtres.

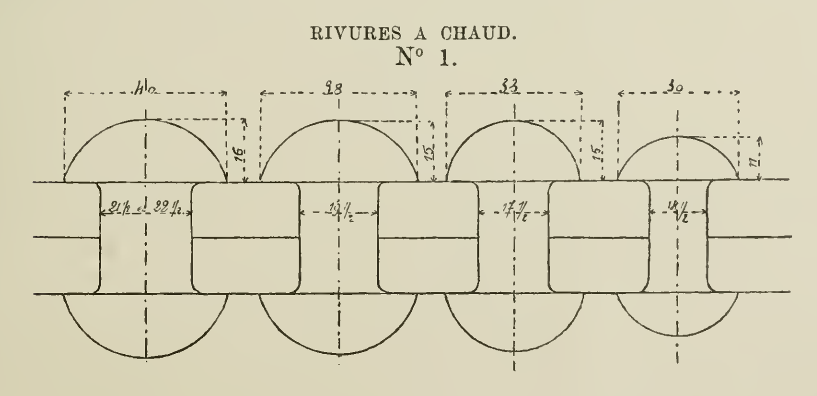
## ÉPREUVES A CHAUD

La ductilité du métal est constatée au moyen des épreuves ci-après :

1° *Epreuves de rivets.* — Pour le fer de qualité spéciale à rivets. Confection des têtes. Les têtes de rivets ayant les dimensions indiquées ci-dessous devront être obtenues, à chaud n° 1, sans criques, et à froid n° 2, sans criques ni gerçures.

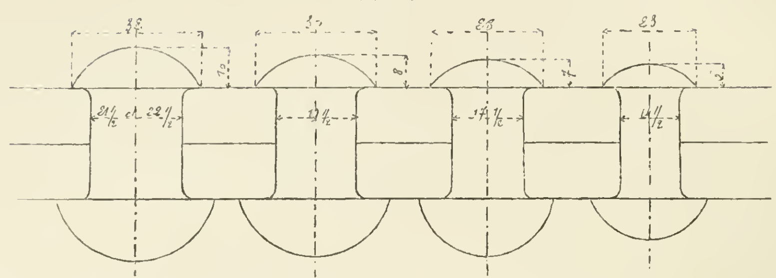
RIVURES A CHAUD.

N° 1.



RIVURES A FROID.

N° 2.



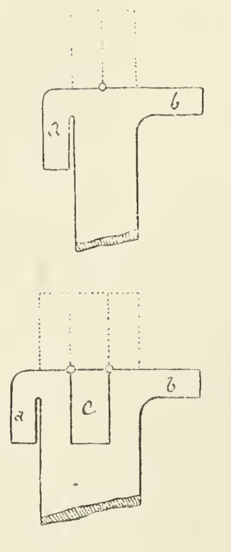
2° *Epreuves des crochets à chaud.* -- Cette épreuve consiste à forger l'extrémité des barres choisies pour l'essai, en rondin d'à peu près $0^m,020$ de diamètre sur une longueur d'environ $0^m,200$.

Ce rondin, porté au blanc soudant, est rabattu par son milieu de façon à former un crochet à l'équerre, dont l'angle intérieur aura pour rayon du congé, la moitié du diamètre, soit 10 millimètres. Ce crochet est redressé, puis reformé en sens inverse et ainsi de suite jusqu'à rupture de l'extrémité de l'éprouvette.

Ces diverses opérations sont faites en une seule chaude et le nombre minimum de redressements doit être, respectivement pour les quatre qualités, de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 20 pour le fer qualité spéciale à rivets. | | | |
| 18 pour le fer de 1re qualité. | | | |
| 8 | d° | 2° | d° |
| 6 | d° | 3° | d° |
| 4 | d° | 4° | d° |

3° *Epreuve de rabattement à chaud.* — Cette épreuve a lieu sur les fers carrés et plats. L'éprouvette choisie pour cet essai est portée au blanc soudant puis fendue sur plat à la tranche, à l'une de ses extrémités sur une longueur de $0^m,100$ limitée par un petit trou.




Les deux parties ainsi formées sont ensuite renversées au marteau. Pour les trois premières qualités de fer, les bords renversés viennent s'appliquer sur les faces de la barre éprouvée comme en *a* du croquis ci-contre ; pour la 4e qualité, ces mêmes bords sont seulement rabattus à angle droit *b*.

Lorsque la largeur du fer à essayer sera supérieure à 8 fois l'épaisseur, l'épreuve de rabattement aura lieu de la façon suivante :

L'éprouvette choisie sera portée au blanc soudant, puis fendue sur plat, à la tranche, de chaque côté, sur une largeur égale à trois fois l'épaisseur du fer. Les parties *a*

et *b* seront, suivant les qualités, rabattues sur champ dans les conditions définies ci-dessus, mais la partie centrale *c* sera dans l'autre sens également rabattue, à bloc pour les trois premières qualités, ou à angle droit pour la quatrième.

Dans ces opérations qui auront lieu en une seule chaude, il ne devra se produire aucune crique ou fente sur le bord des trous limitant les fentes pratiquées à la tranche.

4° *Epreuves des trous à chaud.* — Cette épreuve a lieu sur les fers carrés, ronds, et sur les fers plats dont une des dimensions ne dépasse pas 8 fois l'autre, ou dont l'épaisseur ne sera pas moindre de 10 millimètres.

Les fers carrés et ronds devront préalablement être ramenés par forgeage à une section rectangulaire égale, en épaisseur, au tiers du côté du carré ou du diamètre primitif.

L'épreuve consiste à porter au blanc soudant l'éprouvette choisie, et à la percer, pendant la même chaude, au poinçon conique, de deux trous espacés de 10 millimètres et ayant chacun, par rapport à la largeur du fer essayé, un diamètre égal à $0^{m},85$ de cette largeur pour le fer spécial à rivets, à $0^{m},75$ pour les fers de $1^{re}$ et $2^{e}$ qualité, et à la moitié seulement pour les fers de $3^{e}$ et de $4^{e}$ qualité.

Le percement des deux trous ne doit produire aucune fente ni gerçure, bien que le deuxième trou ne soit terminé qu'au rouge sombre.

## Epreuves a froid

*Epreuve de pliage à froid.* — Sur tous les fers réduits à un diamètre de 20 à 25 millimètres par laminage ou forgeage, et sur ceux dont les dimensions de section ne permettent pas d'effectuer les épreuves ci-dessus, il sera fait un essai de pliage à froid dans les conditions ci-après :

| | Angle de pliage minimum | Rayon de raccordement des 2 branches de l'angle | Angle de redressement (2) |
|---|---|---|---|
| Fers de Suède, qualités spéciales à rivets | 15° | 1*e*(1) | 180° |
| Fers de $1^{re}$ qualité . . . . . . . . . . | 30° | 1*e* | 180° |
| D° $2^{e}$ d° . . . . . . . . . . . | 60° | 1*e*1/2 | 180° |
| D° $3^{e}$ d° . . . . . . . . . . . | 90° | 2*e* | 180° |
| D° $4^{e}$ d° . . . . . . . . . . . | 120° | 3*e* | 180° |

(1) e = épaisseur du fer ou diamètre.

(2) Redressement non imposé pour les fers au-dessus de 12 m/m d'épaisseur ou de diamètre.

Les morceaux ainsi essayés ne doivent présenter ni gerçures, ni déchirures, ni défaut quelconque.

*Epreuves par traction.* — Le degré de ténacité et d'élasticité des fers est constaté au moyen d'épreuves par traction, effectuées sur des barreaux pris à la convenance des agents réceptionnaires dans les barres présentées, découpés directement à froid ou laminés devant eux comme il est dit ci-après :

Ces barreaux, selon que les fers seront ronds, carrés ou plats, devront avoir la forme de cylindres ou de prismes à base rectangulaire.

Les fournisseurs devront se pourvoir de jeu de griffes, permettant d'effectuer les essais par traction sur les barreaux tels qu'ils proviennent des barres brutes. Toutefois, lorsque la forme ou les dimensions des sections ne le permettront pas, on égalisera la partie calibrée des éprouvettes, soit au tour pour les éprouvettes rondes, soit en façonnant les éprouvettes plates ou carrées, dans les conditions de dimensions déterminées ci-après pour les parties calibrées.

Dans les fers plats dont la section est trop forte ou la largeur trop grande pour être essayés tels quels sur la machine d'essai, les bandes convenables, dont l'agent réceptionnaire fixera les dimensions, seront obtenues à la raboteuse ou par tout autre moyen.

S'il s'agit de fers ronds et carrés présentant une section plus forte que le comporte la puissance maxima de la machine d'essai, ces fers seront ramenés au diamètre de 20 millimètres par un laminage effectué en présence de l'agent réceptionnaire.

Ce laminage aura lieu en une seule chaude, à la température du commencement de la chaude suante. Les barres laminées seront refroidies naturellement côte à côte et ne subiront aucun recuit.

Ces diverses éprouvettes doivent toujours porter sur chaque tête les poinçons de la Compagnie.

Les allongements seront relevés d'après des distances entre repères fixées comme suit :

1° *Eprouvettes cylindriques (tournées).*

| PARTIE CALIBRÉE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Diamètres | Distances entre repères | Diamètres | Distances entre repères | Diamètres | Distances entre repères |
| 5 à 9 m/m | 100 m/m | 21 à 25 m/m | 200 m/m | 36 à 40 m/m | 330 m/m |
| 10 à 14 m/m | 130 m/m | 26 à 30 m/m | 250 m/m | 41 à 45 m/m | 370 m/m |
| 15 à 19 m/m | 170 m/m | 31 à 35 m/m | 290 m/m | 46 à 50 m/m | 410 m/m |

L'éprouvette cylindrique tournée à employer de préférence est celle de 20 millimètres de diamètre, à la partie calibrée, et de 200 millimètres, entre les repères pointés pour la mesure de l'allongement. En cas de difficultés spéciales et sur les indications de l'agent réceptionnaire, les diamètres d'éprouvette pourront être modifiés, à la condition expresse que la distance entre repères soit déterminée comme il est dit au tableau ci-dessus.

### 2° *Eprouvettes cylindriques* (*brutes*)

La distance entre repères est fixée à neuf fois le diamètre du barreau à soumettre à l'épreuve.

### 3° *Eprouvettes carrées.*

A dix fois le côté du carré.

### 4° *Eprouvettes méplates.*

| SÉRIES DES ÉPAISSEURS. | DISTANCE entre repères | PARTIE CALIBRÉE | | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|
| | | Largeur. | Longueur. | |
| 5 m/m et au-dessous.... | 100 m/m | 20 m/m | 200 m/m | Le groupement en série d'épaisseurs a été établi avec mêmes largeurs et mêmes longueurs calibrées, pour permettre la préparation des barreaux en paquets par mortaisage ou rabotage. |
| 5 1/2 à 11 m/m......... | 130 m/m | | | |
| 11 1/2 à 17 m/m........ | 170 m/m | | | |
| 17 1/2 à 23 m/m ........ | 200 m/m | | | |
| 23 1/2 à 29 m/m......... | 280 m/m | 30 m/m | 300 m/m | |
| 29 1/2 et au-dessus ...... | 300 m/m | | | |

Pour les fers plats d'une largeur au-dessous de 20 millimètres, les distances entre repères sont néanmoins déterminées comme il est dit ci-dessus.

Les éprouvettes seront soumises à des efforts de traction croissant jusqu'à la rupture.

Le tableau suivant indique, pour chaque qualité de fer :

1° La charge minima que doit supporter une éprouvette quelconque isolée et la charge moyenne exigée pour l'ensemble des éprouvettes afférentes à un même lot ;

2° L'allongement minimum que doit présenter une éprouvette quelconque isolée après rupture, et l'allongement moyen exigé pour l'ensemble des éprouvettes afférentes à un même lot.

| DÉSIGNATION DES FERS. | CHARGES EN KILOG. pour 1 m/m² de la section primitive | | ALLONGEMENTS pour °/₀ relevés sur une long. calibrée de 0m200. | |
|---|---|---|---|---|
| | minima. | moyennes. | minimum | moyens. |
| Fer spécial à rivets ou fer de Suède. . R | 28 kg. | 30 kg. | 30 % | 32 % |
| Fer de 1re qualité ou fer fin au bois. . B | 35 » | 37 » | 20 » | 23 » |
| Id. 2e d° ou fer fort supér. . . S | 34 » | 36 » | 15 » | 18 » |
| Id. 3e d° ou fer fort. . . . . . . . F | 32 » | 35 » | 12 » | 15 » |
| Id. 4e d° ou fer ordinaire . . . O | 30 » | 33 » | 10 » | 12 » |

*Epreuve de soudabilité.* — Pour éprouver la soudabilité et la permanence de la texture du fer malgré l'action de la chaleur, les barres choisies pour l'essai de soudabilité, qui se trouvent déjà ou qui ont été ramenées, s'il y a lieu, à section convenable, comme il est dit ci-dessus pour les éprouvettes non soudées, seront tronçonnées en leur milieu et les morceaux réunis bout à bout par une soudure dite par amorce et à chaude portée.

L'amorce sera préparée avec un renflement amené par étirage ou par refoulement et donnant, autour de la soudure, un excès de matière permettant de corroyer le métal.

Chaque soudure devra être obtenue au moyen de trois chaudes, soit une chaude suante, une chaude de ressuée et une chaude de parage.

Ces soudures devront, dans chaque cas, être comprises entre les points de repère servant à mesurer l'allongement.

Ne seront pas soumis à l'essai de soudabilité :

1° Les fers plats de 9 millimètres d'épaisseur et au-dessous ;

2° Les fers carrés et les fers ronds ou demi ronds dont la section est inférieure à 200 millimètres carrés.

Ces éprouvettes avec soudure ne doivent pas donner des résultats inférieurs de plus de 5 % pour la résistance, et de 25 % pour l'allongement, aux conditions exigées pour les éprouvettes prises dans les corps des barres des mêmes fers, et indiquées au tableau ci-dessus.

## TOLES DE FER

### *A.* Epreuves a froid

La Compagnie de l'Est admet cinq qualités de tôles de fer.

| | | |
|---|---|---|
| Tôles communes | correspondant à la marque | T, n° 2. |
| Tôles ordinaires | d° | T O, n° 4. |
| Tôles supérieures raides | d° | T S, n° 5. |
| Tôles supérieures douces | d° | TSS, n° 6. |
| Tôles fines | d° | T F, n° 7. |

1° *Epreuve de poinçonnage.* — Deux morceaux, ayant chacun 300 millimètres environ de longueur sur 72 millimètres de largeur et découpés, l'un suivant le sens du laminage, l'autre dans le sens perpendiculaire.

Les essais au poinçonnage sont effectués dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire.

Les bandes auront une largeur de 72 millimètres et seront de longueur suffisante pour être percées à froid, au poinçon, de trois trous distants entre eux de 68 millimètres pris de centre en centre. Ces trous seront successivement élargis à froid par le passage de mandrins, augmentant de 1 millimètre de diamètre par centimètre de hauteur, jusqu'à ce que l'élargissement de chaque trou, commencé au diamètre initial fixé aux tableaux suivants, atteigne au diamètre maximum également fixé ci-après. On commencera l'élargissement par le trou du milieu.

Il ne devra se produire pendant l'essai, ni criques, ni gerçures, ni dessoudures.

2° *Epreuve de pliage.* — Deux morceaux ayant chacun 300 millimètres environ de longueur sur 72 millimètres de largeur et découpés, l'un suivant le sens du laminage, l'autre dans le sens perpendiculaire.

Les essais de pliage à froid seront faits dans les conditions fixées aux tableaux ci-après, sur des bandes ayant une largeur de 72 millimètres et 300 millimètres environ de longueur. Les arêtes de la bande pourront être légèrement arrondies à la lime. Après essai, les bandes ne devront présenter ni fentes, ni criques, ni dessoudures, ni défaut quelconque.

Les redressements se feront, autant que possible, à la presse, et de façon à ramener la tôle dans le plan primitif.

### *B.* Epreuves a chaud.

1° *Epreuve de pliage.* — Deux morceaux ayant chacun 300 millimètres environ de longueur sur 72 millimètres de largeur et découpés, l'un suivant le sens du laminage, l'autre dans le sens perpendiculaire.

Les éprouvettes pour essai à chaud sont portées à une température variable entre le rouge cerise et le rouge clair.

Les essais de pliage à chaud seront faits dans les conditions fixées aux tableaux ci-après, sur des bandes ayant une largeur de 72 millimètres et 300 millimètres environ de longueur. Après essais, les bandes ne devront présenter ni fentes, ni criques, ni dessoudures, ni défaut quelconque.

Les redressements se feront, autant que possible, au pilon, et de façon à ramener la tôle dans le plan primitif ;

2° *Epreuve de cintrage ou d'emboutis.* — Les essais de cintrages et d'emboutissages seront exécutés dans des morceaux de dimensions convenables,

indiqués par les tableaux ci-après, pour obtenir les cylindres ou les calottes sphériques dont les dimensions sont indiquées dans les mêmes tableaux.

Ces essais n'auront lieu, autant que l'épaisseur le permettra, qu'avec des maillets en bois ; l'essai au pilon est exclu.

La tôle ne devra présenter, après les essais, ni fentes, ni gerçures, ni dessoudures.

### C. Epreuves par traction

Deux barreaux ayant les dimensions indiquées ci-dessous et découpés, l'un suivant le sens du laminage, l'autre dans le sens perpendiculaire.

Les barreaux d'essais seront découpés à la cisaille, autant que possible, dans les feuilles les moins soignées. Ils seront prélevés au choix de l'agent réceptionnaire et aux emplacements désignés par lui.

Le dressage des bandes ou morceaux pourra être fait à chaud, mais le façonnage des barreaux d'épreuve, dans ces bandes, sera effectué entièrement à froid, sans aucun travail de chauffage, de martelage, de trempe, ni de recuit ultérieur.

Les allongements seront relevés d'après des distances entre repères fixées comme suit :

| SÉRIES DES ÉPAISSEURS. | DISTANCE entre repères. | PARTIE CALIBRÉE | | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|
| | | Largeur. | Longueur. | |
| De 3 m/m à 5 m/m .. | 100 m/m | 20 m/m | 200 m/m | Le groupement en séries d'épaisseurs a été établi avec mêmes largeurs et mêmes longueurs calibrées, pour permettre la préparation des barreaux en paquet par mortaisage ou rabotage. |
| De 5 1/2 à 11 m/m .. | 130 » | | | |
| De 11 1/2 à 17 m/m .. | 170 » | | | |
| De 17 1/2 à 23 m/m .. | 200 » | | | |
| De 23 1/2 à 29 m/m .. | 280 » | 30 m/m | 300 m/m | |
| De 29 1/2 et au-dessus.. | 300 » | | | |

Les repères sont pointés à partir de la naissance des congés, à gauche et à droite de la partie calibrée, de façon que l'endroit de rupture soit toujours compris entre deux repères.

Aucun coup de lime ne sera donné sur les faces laminées des barreaux, qui resteront dans l'état où le laminage aura amené la surface de la tôle.

Ces barreaux seront soumis à des efforts de traction croissant jusqu'à la rupture.

Les tableaux ci-après indiquent, pour chaque qualité de tôle et pour chaque série d'épaisseurs, soit dans le sens, soit dans le travers du laminage :

1° La charge minima que doit supporter une éprouvette quelconque isolée reconnue saine, et la charge moyenne exigée pour l'ensemble des éprouvettes afférentes à un lot d'une même catégorie d'épaisseurs ;

2° L'allongement minimum correspondant que doit présenter une éprouvette quelconque isolée après rupture, et l'allongement moyen exigé pour l'ensemble des éprouvettes afférentes à un lot d'une même catégorie d'épaisseurs ;

3° Le total minimum qu'on doit toujours obtenir en additionnant le chiffre de la résistance avec le chiffre de l'allongement, étant entendu que, dans chaque épreuve, la diminution d'un résultat dans la limite indiquée, sera compensée par une augmentation de l'autre résultat.

On ne pourra pas établir de moyenne entre les résultats fournis dans un sens ou dans l'autre, et il ne sera pas admis de tolérances au-dessous des chiffres fixés, autres que celles indiquées.

---

| DÉSIGNATION | | ÉPREUVES A FROID | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ESSAIS PAR TRACTION | | | | | | | | | | POINÇONNAGE | |
| | | SENS DU LAMINAGE | | | | | TRAVERS DU LAMINAGE | | | | | DIAMÈTRES des trous pour les deux sens. | |
| des TOLES DE FER. | des SÉRIES D'ÉPAISSEURS. | Résistance par m/m2 de section initiale | | Allongement p % après rupture | | TOTAL minimum R + A | Résistance par m/m2 de section initiale | | Allongement p. % après rupture | | TOTAL minimum R + A | | |
| | | minima ; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble | minimum ; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | | minima ; essai isolé | moyenne sur l'ensemble. | minimum, essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | | primitifs | agrandis. |
| | | K | K | % | % | | K | K | % | % | | | |
| T N° 2 *Tôles commune.* | de 3 m/m à 5 m/m inclus. | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | Néant. | |
| | de 5 exclu à 8 inclus. . | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d° | |
| | de 8 exclu à 11 inclus. . | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d°. | |
| | de 11 exclu à 14 inclus . | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d° | |
| | de 14 exclu à 17 inclus | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d° | |
| | de 17 exclu à 20 inclus . | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d° | |
| | de 20 exclu et au-dessus. | 30 | 33 | 3 | 4 | 37 | 27 | 30 | 2 | 2,5 | 32,5 | d°. | |
| Nombre minimum d'essais au compte du fournisseur. | Tôles non soumises à la pression de la vapeur. | 1 essai sur 50 feuilles ou fraction d'au moins 20 feuilles | | | | | | | | | | | |

| PLIAGES | | | | ÉPREUVES A CHAUD à une température variant entre le rouge cerise et le rouge clair. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PLIAGES | | | | PREMIERS PLIAGES | | | | Seconds pliages | | CINTRAGES ou EMBOUTIS. |
| ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens | ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens | Angles intérieurs | | |
| Sens du laminage. | Travers du laminage | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage. | Travers du laminage | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage | Travers du laminage. | |
| Néant. | Néant | Néant | Néant | Néant. | Néant. | Néant | Néant | Néant | Néant | |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | Confection d'un cylindre ayant pour hauteur et pour diamètre intérieur 25 fois l'épaisseur e |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | |
| d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | d° | |
| | | | | | | | | | | 1 essai sur 75 feuilles ou fraction d'au moins 30 feuilles. |

| DÉSIGNATION | | ÉPREUVES A FROID | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ESSAIS PAR TRACTION | | | | | | | | | | POINÇONNAGE | |
| | | SENS DU LAMINAGE | | | | | TRAVERS DU LAMINAGE | | | | | DIAMÈTRES des trous pour les deux sons. | |
| des TOLES DE FER. | des SÉRIES D'ÉPAISSEURS. | Résistance par m/m2 de section initiale — minima ; essai isolé. | Résistance — moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum ; essai isolé. | Allongement — moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | Résistance par m/m2 de section initiale, — minima ; essai isolé. | Résistance — moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum ; essai isolé. | Allongement — moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | primitifs. | agrandis. |
| | | K | K | % | % | | K | K | % | % | | | |
| T O N° 4. *Tôles ordinaires.* | de 3 m/m à 5 m/m inclus. | 32 | 35 | 5 | 7 | 42 | 29 | 32 | 4 | 5 | 37 | Néant. | |
| | de 5 exclu à 8 inclus. | 32 | 35 | 5 | 6,5 | 41,5 | 29 | 32 | 3,5 | 4,5 | 36,5 | d°. | |
| | de 8 exclu à 11 inclus. | 32 | 35 | 5 | 6,5 | 41,5 | 29 | 32 | 3,5 | 4,5 | 36,5 | d°. | |
| | de 11 exclu à 14 inclus. | 31 | 34 | 4,5 | 6 | 40 | 29 | 32 | 3 | 4 | 36 | d° | |
| | de 14 exclu à 17 inclus. | 30 | 33 | 4 | 5,5 | 38,5 | 28 | 31 | 2,5 | 3,5 | 34,5 | d°. | |
| | de 17 exclu à 20 inclus. | 30 | 33 | 4 | 5,5 | 38,5 | 28 | 31 | 2,5 | 3,5 | 34,5 | d°. | |
| | de 20 exclu et au-dessus. | 30 | 33 | 4 | 5,5 | 38,5 | 28 | 31 | 2,5 | 3,5 | 34,5 | d°. | |
| Nombre minimum d'essais au compte du fournisseur. | Tôles non soumises à la pression de la vapeur. | 1 essai sur 30 feuilles ou fraction d'au moins 12 feuilles. | | | | | | | | | | » | |

| | | | | ÉPREUVES A CHAUD à une température variant entre le rouge cerise et le rouge clair. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PLIAGES | | | | PREMIERS PLIAGES | | | | Seconds pliages | | CINTRAGES ou EMBOUTIS. |
| ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens. | ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens. | Angles intérieurs | | |
| Sens du laminage. | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage. | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage. | Travers du laminage. | |
| 90° | 120° | 6 *e* | Néant | 30° | 70° | 2 *e* | Néant | Néant | Néant | |
| 100° | 130° | 6 *e* | d° | 50° | 80° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 120° | 140° | 6 *e* | d° | 70° | 120° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 140° | 160° | 6 *e* | d° | 90° | 120° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 150° | 170° | 6 *e* | d° | 90° | 120° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 160° | 170° | 6 *e* | d° | 90° | 120° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 170° | 170° | 6 *e* | d° | 90° | 120° | 2 *e* | d° | d° | d° | |
| 1 essai sur 20 feuilles ou fraction d'au moins 8 feuilles.......... | | | | 1 essai sur 20 feuilles ou fraction d'au moins 8 feuilles. | | | | | | 1 essai sur 60 feuilles ou fraction d'au moins 25 feuilles. |

| DÉSIGNATION des TOLES DE FER. | des SÉRIES D'ÉPAISSEURS. | ÉPREUVES A FROID — ESSAIS PAR TRACTION — SENS DU LAMINAGE — Résistance par $^m/_m2$ de section initiale — minima; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum; essai isolé | moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | TRAVERS DU LAMINAGE — Résistance par $^m/_m2$ de section initiale — minima; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | POINÇONNAGE — DIAMÈTRES des trous pour les deux sens. — primitifs. | agrandis. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | K | % | % | | K | K | % | % | | | |
| **TS N° 6** *Tôles supérieures (raides)* | de 3 $^m/_m$ à 5 $^m/_m$ inclus. | 33 | 36 | 8 | 11 | 47 | 31 | 34 | 7 | 9 | 43 | Néant | Néant |
| | de 5 exclu à 8 inclus | 33 | 36 | 6,5 | 8,5 | 44,5 | 31 | 34 | 5,5 | 7,5 | 41,5 | d° | d° |
| | de 8 exclu à 11 inclus. | 33 | 36 | 6,5 | 8,5 | 44,5 | 31 | 34 | 5,5 | 7,5 | 41,5 | 16$^m/_m$ | 25$^m$… |
| | de 11 exclu à 14 inclus. | 32 | 35 | 6 | 8 | 43 | 30,5 | 33,5 | 5 | 7 | 40,5 | 16 | 25 |
| | de 14 exclu à 17 inclus. | 31,5 | 34,5 | 6 | 8 | 42,5 | 29,5 | 32,5 | 5 | 7 | 39,5 | 16 | 25 |
| | de 17 exclu à 20 inclus. | 30,5 | 33,5 | 5,5 | 7,5 | 41 | 29,5 | 32,5 | 5 | 6,5 | 39 | 16 | 25 |
| | de 20 exclu et au-dessus. | 30 | 33 | 5 | 7 | 40 | 29 | 32 | 4,5 | 6 | 38 | 16 | 25 |
| Nombre minimum d'essais au compte du fournisseur. | Tôles soumises à la pression de la vapeur. | 1 essai sur 2 feuilles. (Quand le nombre des feuilles de tôles présentées est impair, il est fait un essai en plus). | | | | | | | | | | 1 essai sur 8 feuille… fraction d'… moins 4 feui… | |
| | Tôles non soumises à la pression de la vapeur | 1 essai sur 12 feuilles ou fraction d'au moins 6 feuilles. | | | | | | | | | | 1 essai sur 12 feuill… fraction d'… moins 6 feui… | |

## ÉPREUVES A CHAUD à une température variant entre le rouge cerise et le rouge clair

| PLIAGES — ANGLES INTÉRIEURS — Sens du laminage. | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | REDRESSEMENT pour les deux sens. | PREMIERS PLIAGES — ANGLES INTÉRIEURS — Sens du laminage. | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | REDRESSEMENT pour les deux sens. | Seconds pliages — Angles intérieurs — Sens du laminage. / Travers du laminage. | CINTRAGES ou EMBOUTIS. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40° | 60° | 3 e | 180° | 10° | 30° | 1 e | 180° | 40° | |
| 50° | 70° | 3 e | 180° | 20° | 40° | 1 e | 180° | 60° | |
| 60° | 80° | 3 e | 180° | 30° | 50° | 1 e | 180° | 80° | |
| 70° | 90° | 3 e | 180° | 40° | 60° | 1 e | 180° | 100° | |
| 80° | 100° | 3 e | 180° | 50° | 60° | 1 e | 180° | 120° | |
| 100° | 120° | 3 e | 180° | 60° | 70° | 1 e | 180° | 140° | |
| 120° | 140° | 3 e | 180° | 70° | 80° | 1 e | 180° | 150° | |
| 1 essai sur 4 feuilles ou fraction d'au moins 2 feuilles | | | | 1 essai sur 4 feuilles ou fraction d'au moins 2 feuilles | | | | | 1 essai sur 30 feuilles ou fraction d'au moins 12 feuilles |

| DÉSIGNATION des TOLES DE FER | des SÉRIES D'ÉPAISSEURS. | ÉPREUVES A FROID — ESSAIS PAR TRACTION — SENS DU LAMINAGE — Résistance par $^m/_m2$ de section initiale — minima, essai isolé. | moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | TRAVERS DU LAMINAGE — Résistance par $^m/_m2$ de section initiale — minima; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble. | Allongement p. % après rupture — minimum; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | TOTAL minimum R+A | POINÇONNAGE — DIAMÈTRES des trous pour les deux sens. — primitifs. | agrandis. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | K | % | % | | K | K | % | % | | | |
| TSS N 6. *Tôles supérieures (douces).* | de 3 $^m/_m$ à 5 $^m/_m$ inclus. | 32 | 35 | 10 | 13 | 48 | 31 | 34 | 9 | 12 | 46 | Néant | Néant |
| | de 5 exclu à 8 inclus . | 32 | 35 | 9 | 12 | 47 | 31 | 34 | 8 | 11 | 45 | d° | d° |
| | de 8 exclu à 11 inclus . | 31 | 34 | 8 | 11 | 45 | 30 | 33 | 7,5 | 10 | 43 | 16$^m/_m$ | 30$^m/_m$ |
| | de 11 exclu à 14 inclus . | 30 | 33 | 8 | 11 | 44 | 29 | 32 | 7 | 9 | 41 | 16 | 30 |
| | de 14 exclu à 17 inclus . | 29 | 32 | 8 | 11 | 43 | 28 | 31 | 6,5 | 8,5 | 39,5 | 16 | 30 |
| | de 17 exclu à 20 inclus . | 29 | 32 | 7,5 | 10 | 42 | 28 | 31 | 6 | 8 | 39 | 16 | 30 |
| | de 20 exclu et au-dessus. | 28 | 31 | 7 | 9 | 40 | 27 | 30 | 5,5 | 7.5 | 37.5 | 16 | 30 |
| Nombre minimum d'essais au compte du fournisseur | Tôles soumises à la pression de la vapeur. | 1 essai sur 2 feuilles. (Quand le nombre des feuilles de tôles présentees est impair, il est fait un essai en plus). | | | | | | | | | | 1 essai sur 6 feuilles ou fraction d'au moins 3 feuilles | |
| | Tôles non soumises à la pression de la vapeur | 1 essai sur 10 feuilles ou fraction d'au moins 5 feuilles | | | | | | | | | | 1 essai sur 10 feuilles ou fraction d'au moins 5 feuilles | |

| PLIAGES | | | | ÉPREUVES A CHAUD à une température variant entre le rouge cerise et le rouge clair. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens | PREMIERS PLIAGES — ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens, | Seconds pliages — Angles intérieurs | | CINTRAGES ou EMBOUTIS |
| Sens du laminage | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches | | Sens du laminage. | Travers du laminage | Rayon de raccordement à l'intérieur des branchés. | | Sens du laminage. | Travers du laminage. | |
| 60° | 90° | 4 e | 180° | 30° | 50° | 1,5 e | 180° | Néant | Néant | |
| 70° | 100° | 4 e | 180° | 40° | 60° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| 80° | 110° | 4 e | 180° | 40° | 60° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| 100° | 120° | 4 e | 180° | 60° | 70° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| 110° | 130° | 4 e | 180° | 60° | 70° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| 130° | 140° | 4 e | 180° | 80° | 90° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| 150° | 160° | 4 e | 180° | 90° | 100° | 1,5 e | 180° | d° | d° | |
| essai sur 6 feuilles ou fraction d'au moins 3 feuilles.......... | | | | 1 essai sur 6 feuilles ou fraction d'au moins 3 feuilles | | | | | | 1 essai sur 40 feuilles ou fraction d'au moins 16 feuilles. |

| DÉSIGNATION | | ÉPREUVES A FROID | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ESSAIS PAR TRACTION | | | | | | | | | | POINÇONNAGE | |
| | | SENS DU LAMINAGE | | | | | TRAVERS DU LAMINAGE | | | | | DIAMÈTRES des trous pour les deux sens. | |
| des TOLES DE FER. | des SÉRIES D'ÉPAISSEURS. | Résistance par $^m/_m2$ de section initiale | | Allongement p % après rupture | | TOTAL minimum R+A | Résistance par $^m/_m2$ de section initiale | | Allongement p % après rupture | | TOTAL minimum R+A | | |
| | | minima ; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble. | minimum ; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | | minima ; essai isolé. | moyenne sur l'ensemble | minimum ; essai isolé. | moyen sur l'ensemble. | | primitifs. | agrandis. |
| | | K | K | % | % | | K | K | % | % | | | |
| d'F N° 3 *Tôles fines* | de 3 $^m/_m$ à 5 $^m/_m$ inclus | 32 | 35 | 13 | 17 | 52 | 31 | 34 | 11 | 15 | 49 | Néant | Néant |
| | de 5 exclu à 8 inclus | 32 | 35 | 13 | 17 | 52 | 31 | 34 | 11 | 15 | 49 | d° | d° |
| | de 8 exclu à 11 inclus.. | 31 | 34 | 13 | 17 | 51 | 30 | 33 | 11 | 15 | 48 | 16 $^m/_m$ | 33 $^m/$ |
| | de 11 exclu à 14 inclus. | 31 | 34 | 12 | 16 | 50 | 30 | 33 | 10,5 | 14 | 47 | 16 | 33 |
| | de 14 exclu à 17 inclus. | 30 | 33 | 12 | 16 | 49 | 29 | 32 | 10,5 | 14 | 46 | 16 | 33 |
| | de 17 exclu à 20 inclus.. | 30 | 33 | 11 | 15 | 48 | 29 | 32 | 10 | 13 | 45 | 16 | 33 |
| | de 20 exclu et au-dessus | 29 | 32 | 11 | 15 | 47 | 28 | 31 | 10 | 13 | 44 | 16 | 33 |

| Nombre minimum d'essais au compte du fournisseur | Essais par traction | Poinçonnage |
|---|---|---|
| Tôles soumises à la pression de la vapeur | 1 essai sur 2 feuilles (Quand le nombre de feuilles de tôles presentées est impair il est fait un essai en plus) | 1 essai sur 4 feuilles fraction d'a moins 2 feuil |
| Tôles non soumises à la pression de la vapeur. | 1 essai sur 6 feuilles ou fraction d'au moins 3 feuilles | 1 essai sur 6 feuilles fraction d'a moins 3 feuil |

| PLIAGES | | | | ÉPREUVES A CHAUD à une température variant entre le rouge cerise et le rouge clair, | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | PREMIERS PLIAGES | | | | Seconds pliages | | CINTRAGES ou EMBOUTIS. |
| ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens. | ANGLES INTÉRIEURS | | | REDRESSEMENT pour les deux sens. | Angles intérieurs | | |
| Sens du laminage. | Travers du laminage. | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage. | Travers du laminage | Rayon de raccordement à l'intérieur des branches. | | Sens du laminage | Travers du laminage | |
| 70° | 100° | 5 *e* | 180° | 30° | 70° | 1,5 *e* | 180° | Néant. | Néant. | |
| 90° | 120° | 5 *e* | 180° | 50° | 80° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | |
| 100° | 130° | 5 *e* | 180° | 50° | 80° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | |
| 120° | 150° | 5 *e* | 180° | 70° | 90° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | 7 e<br>12 e<br>30 e<br>7 e |
| 140° | 170° | 5 *e* | 180° | 70° | 90° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | |
| 150° | 170° | 5 *e* | 180° | 90° | 100° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | |
| 170° | 170° | 5 *e* | 180° | 90° | 120° | 1,5 *e* | 180° | d° | d° | |
| essai sur 8 feuilles ou fraction d'au moins 4 feuilles.... ..... | | | | 1 essai sur 8 feuilles ou fraction d'au moins 4 feuilles. | | | | | | 1 essai sur 50 feuilles ou fraction d'au moins 20 feuilles |

## TOLES EN ACIER DOUX

### Essais.

Chaque essai se compose :

1° D'une épreuve de pliage à froid } sens et travers de laminage.
2° Id. id. à chaud } sens et travers de laminage.
3° Id. par traction (sens et travers du laminage).
4° Id. d'emboutissage.

A cet effet, les feuilles ne pourront être présentées en réception dans les usines qu'avec un excédent adhérent à la feuille, de dimensions suffisantes pour prélever les essais ci-dessus, dont les divers morceaux seront désignés par l'agent réceptionnaire à son choix et découpés sous ses yeux.

*Épreuve de pliage à froid.* — Les épreuves de pliage à froid seront faites sur 2 bandes ayant une largeur de $0^{m}070$ et $0^{m}300$ environ de longueur, prélevées, l'une dans le sens de la longueur de la tôle et l'autre dans le sens de la largeur.

Le prélèvement de ces bandes sera fait à froid au moyen de la tranche, et ce travail ne devra produire aucun éclat sur les bords des parties découpées.

Pour les tôles de 3 millimètres d'épaisseur et au-dessous, chacune des bandes sera pliée par le milieu jusqu'à ce que les deux parties viennent s'appliquer à bloc l'une sur l'autre dans toute leur longueur.

Pour les tôles de 3 millimètres 1/2 et au-dessus, le pliage devra former un angle de 50°, le rayon de raccordement à l'intérieur des deux branches étant égal à 3 fois l'épaisseur de la tôle. La bande sera ensuite complètement redressée.

Après ces essais, les bandes ne devront présenter, ni fentes, ni criques, ni défauts quelconques.

*Épreuve de pliage à chaud avec redressement.* — Les épreuves de pliage à chaud seront faites sur 2 bandes ayant une largeur de $0^{m}070$ et $0^{m}300$ environ de longueur, prélevées comme il est dit ci-dessus.

Pour les tôles de 3 millimètres et au-dessous, chacune de ces bandes, après avoir été chauffée à une température suffisante, sera pliée par le milieu, de manière à ramener les 2 parties parallèles l'une à l'autre, en laissant entre elles un intervalle égal à l'épaisseur de la tôle essayée, puis les bandes seront redressées à 180°.

Pour les épaisseurs au-dessus de 3 millimètres, l'angle du pliage sera de 20° ; le rayon de raccordement des 2 branches étant égal à l'épaisseur de la tôle essayée. Les bandes seront complètement redressées, puis pliées à nouveau jusqu'à

ce que les deux parties forment un angle de 60°, le rayon de raccordement étant le même que pour le premier pliage à chaud.

Après ces essais, les bandes ne devront présenter ni fentes, ni criques, ni dédoublures, ni défauts quelconques.

*Épreuves par traction.* — Les bandes d'essais seront découpées à froid, sans aucun autre travail de chauffage, de martelage, de trempe, ni de recuit ultérieur.

Elles seront prélevées au choix de l'agent réceptionnaire et aux emplacements désignés par lui.

Les allongements seront relevés d'après des distances entre repères fixées comme suit :

| SÉRIE DES ÉPAISSEURS. | DISTANCE entre repères. | PARTIE CALIBRÉE | | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|
| | | Largeur. | Longueur. | |
| 5 m/m et au-dessous... | 100 m/m | 20 m/m | 200 m/m | Le groupement en séries d'épaisseurs a été établi avec mêmes largeurs et mêmes longueurs calibrées, pour permettre la préparation des barreaux en paquet par mortaisage ou rabotage. |
| 5 1/2 à 11 m/m....... | 130 » | | | |
| 11 1/2 à 17 m/m....... | 170 » | | | |
| 17 1/2 à 23 m/m...... | 200 » | | | |
| 23 1/2 à 29 m/m....... | 280 » | 30 m/m | 300 m/m | |
| 29 1/2 et au-dessus..... | 300 » | | | |

Les repères sont pointés à partir de la naissance des congés, à gauche et à droite de la partie calibrée, de façon que l'endroit de rupture soit toujours compris entre deux repères.

Aucun coup de lime ne sera donné sur les faces laminées des barreaux, qui resteront dans l'état où le laminage aura amené la surface de la tôle.

Ces barreaux seront soumis à des efforts de traction croissant jusqu'à la rupture.

La charge maxima de rupture et l'allongement correspondant minimum après rupture doivent correspondre, pour le sens du laminage comme pour le travers, aux indications ci-après :

| | |
|---|---|
| Tôles de 3 millim. d'épaisseur et au-dessus. | $42^k$ de résistance maxima par millimètre carré de section initiale. et 25 % d'allongement minimum entre les repères pointés. |

Pour les tôles au-dessous de 3 millimètres, la Compagnie se réserve, s'il y a lieu, le droit d'effectuer dans les ateliers des fournisseurs ou dans les siens, des épreuves par traction, afin de s'assurer de la qualité des matières employées dans la fabrication.

*Épreuves d'emboutissage.* — L'épreuve d'emboutissage sera exécutée avec la massette en bois, dans un morceau de tôle de dimensions convenables pour obtenir, selon le cas, l'une des calottes sphériques indiquées par les croquis ci-dessous.

Toles de 3 $^{m}/_{m}$ et au-dessus

*e* : épaisseur de la tole.

Au-dessus de 3 $^{m}/_{m}$

*e* : épaisseur de la tole.

La tôle ne devra présenter, après l'essai, ni fente, ni crique, ni défaut quelconque.

*Remarques.* — On voit que la Compagnie des chemins de fer de l'Est :

1° Fait varier la longueur entre repères des éprouvettes suivant leur section, de manière à entrer autant que possible dans la loi de similitude de M. Barba, dont je parlerai plus loin ;

2° Pour les tôles communes, les charges de rupture et les allongements sont constants, quelle que soit l'épaisseur de la tôle ;

3° Pour toutes les autres qualités de tôles, les résistances et les allongements diminuent avec les épaisseurs du métal, et les angles intérieurs obtenus pour les pliages à froid ou à chaud, vont, au contraire, en augmentant avec les épaisseurs.

## Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest

*Emploi des tôles dans la construction du matériel*

### TOLES EN FER

Les tôles employées dans la construction du matériel roulant de la Compagnie de l'Ouest sont de quatre qualités, savoir :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tôle de qualité commune, | correspondant à la qualité dite | N° 3 | du Creusot. |
| Tôle de qualité ordinaire | d° | N° 4 | d° |
| Tôle de qualité supérieure, | d° | N° 5 | d° |
| Tôle de qualité extra-douce, | d° | N° 6 | d° |

Pour s'assurer de la qualité, on fait sur deux échantillons prélevés à froid, l'un en long, l'autre en travers, sur chaque tôle pour les qualités 5 et 6, et sur une tôle par lot de 10 tôles, pour les qualités 3 et 4, des essais à la traction qui doivent donner les résultats suivants :

| DÉSIGNATION DES TOLES | CHARGE DE RUPTURE par millimètre carré de la section initiale. | ALLONGEM. MESURÉ dans le décimètre comprenant le point de rupture. |
|---|---|---|
| Tôles de qualité commune N° 3. ..... | 30 k. | 5 m/m |
| Tôles de qualité ordinaire N° 4....... | 32 k. | 9 m/m |
| Tôles de qualité supérieure N° 5....... | 33 k. | 12 m/m |
| Tôles de qualité extra douce N° 6....... | 35 k. | 16 m/m |

Toutefois, il est admis une tolérance de 2 kilogrammes au moins sur chacune des charges de rupture prescrites ci-dessus, à la condition que chaque kilogramme en moins soit compensé respectivement par un pour cent d'allongement, en plus de l'allongement normal prescrit.

De même, il est admis une tolérance de deux pour cent (2 %) en moins sur chacun des allongements prescrits ci-dessus, à la condition que chaque centième en moins soit compensé respectivement par un (1) kilogramme de charge de rupture, en plus de la charge normale prescrite.

L'éprouvette a 200 millimètres de longueur utile et une section carrée pour les tôles de 25 millimètres d'épaisseur et au-dessus ; pour les tôles dont l'épaisseur est inférieure à 25 millimètres, la section est rectangulaire, ayant comme dimensions l'épaisseur de la tôle et 25 millimètres de largeur.

Indépendamment des essais à la traction, on fait, en vue de se rendre compte de l'homogénéité et de la ductilité du métal, les épreuves suivantes :

*Poinçonnage.* — Deux bandes de tôles de 200 millimètres de longueur et 60 millimètres de largeur, prélevées à froid, l'une en long, l'autre en travers, sont percées en leur centre, d'un trou de 21 millimètres de diamètre ; le diamètre de ce trou doit pouvoir être agrandi à froid au moyen d'un mandrin conique jusqu'à :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 23 | millimètres | pour les tôles de | qualité commune | ou N° 3. |
| 24 | d° | d° | qualité ordinaire | ou N° 4. |
| 25 | d° | d° | qualité supérieure | ou N° 5. |
| 30 | d° | d° | qualité extra-douce | ou N° 6. |

sans qu'il se manifeste ni criques, ni gerçures, ni dessoudures.

*Pliage.* — Des bandes de 300 millimètres de longueur et 60 millimètres de largeur prélevées dans les deux sens de la tôle, doivent pouvoir être pliées comme il est dit ci-après, sans qu'il se produise ni criques, ni gerçures, ni dessoudures.

| DÉSIGNATION des tôles. | CONDITIONS DU PLIAGE | |
| --- | --- | --- |
| | à froid. | à chaud. |
| Tôle de qualité commune. | Sous un angle de 150° avec un arrondi d'un rayon intérieur égal au double de l'épaisseur de la tôle. | D'équerre, avec un arrondi d'un rayon intérieur égal au triple de l'épaisseur de la tôle. |
| Tôle de qualité ordinaire. | Sous un angle de 120° avec un arrondi d'un rayon intérieur égal au double de l'épaisseur de la tôle. | D'équerre, avec un arrondi d'un rayon intérieur égal au double de l'épaisseur de la tôle. |
| Tôle de qualité superieure. | D'équerre, avec un arrondi d'un rayon égal au double de l'épaisseur de la tôle. | Sur elle-même, avec un écartement des branches égal au double de l'épaisseur de la tôle. |
| Tôle de qualité extra-douce. | D'équerre, avec un arrondi d'un rayon égal à l'épaisseur de la tôle. | Complètement sur elle-même. |

## TOLES D'ACIER

Pour des chaudières en tôles d'acier, construites en 1884 par les anciens établissements Cail, on a imposé les conditions suivantes : une charge de rupture de 40 à 45 kilogrammes par millimètre carré et un allongement de 25 % au minimum (éprouvette de 200 millimètres). En outre, les tôles, trempées au rouge cerise sombre visible dans l'atelier, devaient pouvoir être pliées à bloc, sans criques ni indices de rupture. Enfin, les tôles devaient être recuites après chaque opération.

Les rivets étaient en fer.

Les tôles d'acier sont également employées pour certaines pièces, par exemple :

| | |
| --- | --- |
| Pour les longerons et les plaques de renfort. | tôles donnant aux essais 50k. et 20 °/o. d'allongement avec tolérance de 2k. et 2 °/o. |

| | |
|---|---|
| Pour les bandes de sommiers de foyer. | tôles donnant 50 k. au minimum et 20 °/₀ d'allongement au maximum. |

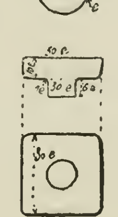
L'acier est en outre employé pour toutes les tôles jusqu'à 10 millimètres d'épaisseur inclusivement.

Les conditions imposées à ces tôles sont les suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Tôles au-dessous de 2 millimètres | 47 kilogrammes et | 10 °/₀ |
| Tôles de 2 à 6 millimètres | 45 » | 15 °/₀ |
| Tôles de 6 à 10 millimètres | 43 » | 21 % |

avec une tolérance de 2 kilogrammes en moins sur les charges, compensés par 2 % en plus sur les allongements.

Ces tôles sont en outre soumises aux épreuves ci-après :



*Épreuves à chaud.* -- On exécute une calotte hémisphérique avec bord plat, ayant les dimensions du croquis ci-contre.

Pour les tôles de plus de 5 millimètres d'épaisseur, on exécute en outre une cuve à base carrée ayant les dimensions ci-contre.

Ces pièces ne doivent présenter ni criques, ni gerçures.

*Essais de trempe.* — Des barreaux de 23 centimètres de longueur sur 4 centimètres de largeur, découpés dans chaque feuille en long et en travers, sont chauffés au rouge cerise un peu sombre, puis trempés dans l'eau à 20° ; ils doivent pouvoir, sous l'action de la presse, se plier : complètement, de manière que les deux moitiés soient appliquées l'une sur l'autre, pour les tôles jusqu'à 4 millimètres d'épaisseur ; et avec un rayon qui ne doit pas être supérieur à l'épaisseur de la tôle, pour les tôles au-dessus de 4 millimètres d'épaisseur.

## Compagnie des Chemins de fer du Nord

Cette Compagnie soumet les tôles de fer, nécessaires à ses différents services, à des épreuves à froid et à chaud.

### Épreuves a froid

Ces épreuves consistent :

1° — à déterminer la résistance à la rupture par traction, ainsi que la faculté d'allongement tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire.

2° — à contrôler ces épreuves de traction par le pliage de bandes découpées dans les tôles.

*Dimensions des barreaux d'épreuves.*

Les barreaux d'épreuve auront la forme de prismes à base rectangulaire, dont les dimensions seront, pour l'un des côtés, constamment 30 millimètres, pour l'autre l'épaisseur même de la tôle. Les résistances seront calculées sur cette section initiale. On ne devra en aucune façon toucher aux faces des barreaux, elles devront rester dans leur état primitif.

La longueur de la partie prismatique soumise à la traction sera toujours exactement de 10 centimètres (dix centimètres). Les allongements pour % seront calculés sur cette longueur initiale.

Ces barreaux, à leurs extrémités, présenteront une forme telle qu'ils puissent être saisis facilement par les mâchoires de la machine à essayer.

Ils seront soumis à des efforts de traction, croissant jusqu'à ce que la rupture ait lieu.

Dans le tableau suivant sont indiqués, par chaque catégorie, ainsi que pour le sens suivant lequel chaque barreau est découpé, les charges minima moyennes, ainsi que l'allongement minimum moyen exigés par l'ensemble des barreaux afférents à un même lot.

Aucun des chiffres obtenus aux essais ne devra descendre au-dessous de ces limites de plus de 3 kilogrammes, pour la charge de rupture, et 2 °/₀ pour l'allongement.

Il se pourra que, pour les tôles N° 7, la résistance à la rupture soit inférieure à celle exigée, mais compensée par un excédent d'allongement. La tolérance sera de 3 kilogrammes avec surcroît d'allongement de 1,5 °/₀ par kilogramme, au moins.

Le nombre des barreaux à essayer pour obtenir ces moyennes sera fixé par l'Agent de la Compagnie chargé de la réception, suivant l'importance de la livraison et suivant le résultat des premiers essais. Il sera au minimum de quatre par livraison.

On ne pourra établir de moyenne entre les résultats obtenus dans un sens et ceux obtenus dans le sens perpendiculaire.

| DÉSIGNATION DES CATÉGORIES | CHARGES DE RUPTURE en kilos pour 1 m/m² de section initiale | | ALLONGEMENTS correspondant à la charge de rupture (en fonction de la longueur soumise à l'essai.) | |
|---|---|---|---|---|
| | Long. | Travers. | Long. | Travers. |
| Tôle N° 2 | 30 | 27 | 5 | 2 |
| » 3 | 31 | 29 | 7 | 4 |
| « 4 | 32 | 30 | 12 | 8 |
| » 5 | 33 | 30 | 17 | 9 |
| » 6 | 35 | 32 | 19 | 12 |
| » 7 | 37 | 34 | 25 | 20 |

*Epreuves de pliage à froid.* — Des bandes seront découpées dans les deux sens sur les tôles déjà choisies pour les essais de traction.

Ces bandes auront 40 à 50 millimètres de largeur, et l'on aura soin d'abattre à la meule ou à la lime les angles formés par les arêtes.

Elles seront pincées par l'une de leurs extrémités dans un étau, et l'on frappera avec un marteau sur l'extrémité libre. On s'arrêtera au moment où apparaîtront les premières criques.

La valeur des angles que l'on devra obtenir avant l'apparition des criques est indiquée ci-dessous :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tôle N° | 2. | Long | 160° | Travers | 170° |
| id | 3. | id | 145° | id. | 160° |
| id. | 4. | id. | 115° | id. | 150° |
| id. | 5. | id. | 110° | id. | 140° |
| id. | 6. | id. | 90° | id. | 110° |
| id. | 7. | id. | 70° | id. | 80° |

ÉPREUVES A CHAUD

La température à laquelle seront faites ces épreuves sera voisine du rouge cerise.

Elles consisteront :

1° — à exécuter avec des morceaux de dimensions convenables provenant des tôles déjà soumises aux précédents essais, soit des cylindres, soit des calottes sphériques à bord plat conservé dans le plan primitif de la tôle.

2° — à plier des bandes découpées dans ces mêmes tôles.

*Confection des cylindres.*— Ce genre d'épreuves s'appliquera aux tôles N° 3.

Les cylindres devront avoir pour hauteur et pour diamètre intérieur 25 fois (vingt-cinq fois) l'épaisseur de la tôle.

L'enroulement se fera avec un mandrin et au maillet en bois.

Le cylindre terminé ne devra présenter ni criques, ni gerces.

*Confection des calottes sphériques.* — Ce genre d'épreuves s'appliquera aux tôles nos 4, 5, 6, 7.

La corde de la calotte mesurée intérieurement devra avoir constamment 30 fois (trente fois) l'épaisseur de la tôle.

Le bord plat circulaire de cette pièce aura pour largeur sept fois l'épaisseur de la tôle, et sera raccordé à la partie sphérique par un congé dont le rayon, mesuré intérieurement, sera égal à l'épaisseur de la tôle.

La flèche que devra avoir la calotte sera :

| | | | |
|---|---|---|---|
| pour la tôle n° | 4, | 5 | fois l'épaisseur de la tôle, |
| d° | 5, | 10 | d° |
| d° | 6. | 12 | d° |
| d° | 7, | 15 | d° |

La calotte terminée ne devra présenter ni criques ni gerces.

Elle sera exécutée avec soin, en plusieurs chaudes si cela est nécessaire, et l'on se servira pour la défoncer de maillets en bois.

*Confection d'une cuve.* — Outre les épreuves précédentes, les tôles n° 7 seulement seront soumises à la suivante :

Il sera confectionné, avec un morceau de dimensions convenables, une cuve à base carrée et à bords relevés d'équerre. Le fond de cette cuve aura pour côté trente fois l'épaisseur de la tôle, et la hauteur des bords, mesurée intérieurement, sera de sept fois cette même épaisseur.

Les bords seront raccordés entre eux et avec le fond par un congé, dont le rayon mesuré intérieurement sera égal à l'épaisseur de la tôle.

La cuve terminée ne devra présenter ni criques, ni gerces.

*Épreuves de pliage.* — Des bandes seront découpées dans les deux sens sur les tôles à essayer. Elles seront établies dans les mêmes conditions que celles destinées aux épreuves à froid, et l'essai se fera de la même façon.

La valeur des angles que l'on devra obtenir avant l'apparition des criques est indiquée ci-dessous.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tôle N° | 2. | Long | 100° | Travers | 120° |
| id. | 3. | id. | 80° | id. | 100° |
| id. | 4. | id. | 30° | id. | 50° |
| id. | 5. | id. | 10° | id. | 30° |
| id. | 6. | id. | 0° | id. | 20° |
| id. | 7. | id. | 0° | id. | 0° |

## Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée

Les cahiers des charges de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, pour les fers de forge, tôles de fer et tôles d'acier, sont des plus complets et des mieux étudiés, mais comme ils offrent une grande analogie pour les différents essais avec ceux déjà cités, je n'insisterai que sur quelques différences intéressantes à signaler.

*Barreaux d'épreuves.* — La longueur franche de la partie prismatique ou cylindrique, soumise à la traction, doit être d'au moins $0^m,200$. La section du prisme ou du cylindre doit être, au minimum, de 500 millimètres carrés, à moins que l'échantillon à essayer n'ait une section inférieure à ce minimum, auquel cas la section doit être liée à la longueur par la formule $l^2$ 80 S.

*Soudabilité.* — Cet essai s'opère comme dans les autres Compagnies, mais la Compagnie du P.-L.-M. exige que, pour la résistance et l'allongement, les résultats obtenus avec les barreaux soudés soient équivalents, à moins de 5 % près aux résultats exigés pour les fers de même catégorie non soudés.

*Qualités des fers.* — Le tableau ci-dessous indique les conditions de charge et d'allongement imposées aux différentes qualités de fers.

| DÉSIGNATION DES FERS. | CHARGES EN KILOGRAMMES pour un millimètre carré de la section primitive | | | ALLONGEMENTS en fonction de la longueur du prisme essayé | |
|---|---|---|---|---|---|
| | initiales. | minima. | moyennes | minimum | moyens. |
| Fer de 1re catégorie : fer fin ou au bois | 31 | 35 | 38 | 0.220 | 0.250 |
| Fer de 2e catégorie : fer fort supérieur | 30 | 34 | 37 | 0.200 | 0.230 |
| Fer de 3e catégorie : fer fort ........ | 28 | 32 | 35 | 0.150 | 0.180 |
| Fer de 4e catégorie : fer ordinaire ... | 26 | 30 | 33 | 0.100 | 0.120 |

### *Conditions spéciales pour les tôles.*

Les tôles de fer sont classées au point de vue de la qualité du fer en quatre catégories, devant satisfaire aux conditions suivantes :

| DÉSIGNATION DES TÔLES. | CHARGES EN KILOGRAMMES pour un millimètre carré de la section primitive. | | | | ALLONGEM. en fonction de la longueur du prisme essayé | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Initiales | | Minima. | Moyennes. | Minimum. | Moyens |
| | en long. | en travers. | | | | |
| Tôle de 1re catégorie : fine au bois ... | 32 | 25 | 28 | 36.5 | 0.080 | 0.130 |
| Tôle de 2e catégorie : fine à la houille. | 30 | 24 | 27 | 33.5 | 0.050 | 0.085 |
| Tôle de 3e catégorie : tôle à chaudières | 27 | 21 | 24 | 30.0 | 0.015 | 0.055 |
| Tôle de 4e catégorie : tôle puddlée ... | 25 | 20 | 22 | 27.0 | 0.010 | 0.045 |

*Tôles d'acier.* — Dans la réception de ces matières nous ne pouvons signaler, pour les tôles à chaudières, que la condition imposée de pouvoir plier en deux à plat les barreaux d'essais après trempe, de manière que les deux moitiés soient complètement appliquées l'une sur l'autre.

## Compagnie des Chemins de fer de Paris à Orléans

Cette Compagnie, dans son nouveau cahier des charges de 1887, semble avoir abandonné assez généralement les essais physiques à froid ou à chaud, et ne procède à ses réceptions que par des essais de traction.

*Éprouvettes.* — Les éprouvettes d'essais doivent être découpées à froid dans les pièces, elles ont :

200 millimètres de longueur utile, 25 millimètres de largeur ou 16 millimètres de diamètre.

Cette Compagnie se préoccupe dans les essais à la traction, de la résistance R, de l'allongement A, et aussi de la striction S, et il faut que la somme de la résistance et de la striction, c'est-à-dire R + S, soit égale au chiffre marqué en face de chaque qualité du métal.

Les valeurs de R, A, S, marquées dans les tableaux sont des minimums.

| DÉSIGNATION. | NUMÉROS de catégorie. | QUALITÉ. | CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉCEPTION. ESSAIS DE TRACTION. Résistance par $^m/_m{}^2$ R | Allongement % A | Striction % S | Valeur de R + S | Essais divers. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fers ronds, carrés et plats avec épaisseur d'au moins 8 $^m/_m$ ou $^1/_8$ de la largeur. | 1 | fer commun.. | 32k | 6 à 8 | 18 | 50 | |
| | 2 | fer laminé... | 35k | 10 à 12 | 25 | 60 | |
| | 3 | fer corroyé.. | 35k | 15 à 18 | 35 | 70 | |
| $l$ | 4 | fer de ferraille | 36k | 20 | 45 | 81 | doit être très homogène. |
| | 5 | fer transformé dit fer fort. | 38k | 20 | 50 | 88 | d° |
| au moins 8 $^m/_m$ ou $\frac{l}{8}$ | 6 | fer à grain | 40k | 23 | 60 | 100 | d° |

| DÉSIGNATION | NUMÉROS de catégorie | QUALITÉ | CONDITIONS GÉNÉRALES de RÉCEPTION. ESSAIS DE TRACTION. Résistance par $^m/_m{}^2$ R | Allongement % A | Striction % S | Valeur de R+S | ESSAIS DIVERS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TÔLES de FER | 1 | fer commun (tôles puddlées) | 32 k. | 6 à 10 | 18 | 50 | en long. | |
| | 2 | fer corroyé | 35 | 12 | 23 | 58 | en long | à remplacer par l'acier n° 2 sauf pour les tôles minces |
| | | | 33 | 8 | 20 | 53 | en travers | |
| | 3 | fer fort | 36 | 15 | 28 | 64 | en long | à remplacer par l'acier n° 4 |
| | | | 30 | 10 | 20 | 50 | en travers | |
| | 4 | fer fort supérieur | 35 | 16 | 30 | 65 | en long | calotte emboutie à 10 épaisseurs |
| | | | 33 | 12 | 22 | 55 | en travers | |
| | 5 | fer fin | 35 | 16 | 30 | 65 | en long | calotte emboutie à 15 épaisseurs |
| | | | 35 | 16 | 30 | 65 | en travers | |
| | 6 | fer fin supérieur | 35 | 16 | 30 | 65 | en long | Épreuve de l'angle trièdre droit |
| | | | 35 | 16 | 30 | 65 | en travers | |

| DÉSIGNATION. | Numéros de catégorie. | QUALITÉ. | CONDITIONS GÉNÉRALES DE RÉCEPTION. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ESSAIS DE TRACTION. | | | | ESSAIS DIVERS |
| | | | Résistance par m/m2 R | Allongement % A | Striction % S | Valeur de R+S | |
| | 1 | Extra-doux. (Bessemer) Déphosphoration. | 40k. | 25 | 60 | 100 | dans les 2 sens |
| | 2 | Très doux. (Martin). | 40 à 45 | 25 à 20 | 60 à 55 | 100 | d° |
| TÔLES D'ACIER. | 3 | Très doux. (Martin). Qualité de la marine. | 42 | 26 | 63 | 105 | d° |
| | 4 | Très doux. (Martin ou Bessemer) | 45 | 20 | 50 | 95 | d° |
| | 5 | Doux. (Martin). | 45 à 50 | 25 à 20 | 50 à 45 | 95 | d° |
| | 6 | Demi-doux. (Martin ou Bessemer) | 50 à 55 | 20 à 16 | 45 à 40 | 95 | d° |

La Compagnie d'Orléans est donc la première en France qui fasse entrer la valeur de la striction dans ses réceptions de métaux ; cette tentative méritait d'être spécialement signalée.

## Chemins de fer de l'État

Les cahiers des charges des chemins de fer de l'Etat offrent une particularité dans les essais à la traction ; on impose, en effet, une charge en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive comme limite d'élasticité, et, lorsque la section de l'éprouvette est inférieure à 500 millimètres carrés, on applique la formule $l^2$ 80 S, pour lier la longueur à la section.

Les deux tableaux ci-dessous donnent les conditions d'élasticité, de résistance et d'allongement imposés aux fers et aux tôles.

| DÉSIGNATION DES FERS. | CHARGE EN KILOS PAR m/m² DE LA SECTION PRIMITIVE | | ALLONGEMENT en fonction de la longueur du prisme essayé |
|---|---|---|---|
| | Limite d'élasticité. | Minima. | Minimum. |
| Fer de 1re catégorie...... | 15 | 35 | 0.220 |
| » 2e » ...... | 15 | 34 | 0.200 |
| » 3e » ...... | » | 32 | 0.150 |
| » 4e » ...... | » | 30 | 0.100 |

| | CHARGES EN KILOGR. par m/m² de la section initiale | | | ALLONGEMENT minimum en fonction de la long. du prisme | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Limite d'élasticité. | charge de rupture minima | | | |
| | | en long. | en travers. | en long. | en travers. |
| POUR DES TÔLES DE : | | | | | |
| 1re catégorie : Tôle fine au bois ou en fer fin au bois............. | 15 k. | 35 k. | 34 k. | 0.180 | 0.120 |
| 2e catégorie : Tôle fine à la houille ou en fer fort supérieur.... | 15 | 34 | 32 | 0.140 | 0.090 |
| 3e catégorie : Tôle à chaudière ou en fer fort................ .... | 15 | 32 | 30 | 0.100 | 0.060 |
| 4e catégorie : Tôle puddlée ou en fer ordinaire.............. | 15 | 30 | 26 | 0.060 | 0.040 |
| Tôles de longerons pour locomotives ou tenders............................ | 15 | 34 | 28 | 0.100 | 0 050 |

*Soudabilité.* — L'Etat admet que les fers soudés peuvent présenter des différences au moins de 5 à 10 °/₀ pour la résistance, et 10 à 25 °/₀ pour l'allongement, par rapport aux fers non soudés.

Pour les tôles de fer, l'Etat fait opérer aussi l'épreuve du poinçonnage à froid comme la Compagnie de l'Ouest.

Il n'y a aucune remarque intéressante à faire sur les autres épreuves usitées à froid ou à chaud.

# Association des Propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France

Depuis le mois d'octobre 1886, j'ai eu à m'occuper de la surveillance de la fabrication de chaudières en tôle d'acier ; j'ai donc dû rechercher les conditions qu'il fallait imposer lors de la réception de ces tôles, pour assurer l'exécution des prescriptions du cahier des charges.

Je crois devoir transcrire ici un extrait des traités :

. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .

« Les tôles d'acier devront être faites avec des lingots provenant exclusivement de métal basique fabriqué au four Martin-Siemens, à l'exclusion de tout métal provenant d'un convertisseur.

« Les tôles devront être faites exclusivement avec les parties inférieures des lingots ; à cet effet, on devra abattre la partie supérieure des lingots, et le poids ainsi enlevé devra être de 30 à 35 % du poids total du lingot primitif.

« La chute sera détachée du lingot à froid au marteau-pilon. L'aspect de la cassure de la partie destinée à faire les tôles sera examiné avec le plus grand soin, et on s'assurera qu'elle est absolument exempte de soufflures ou autres défauts.

« L'épaisseur de chaque lingot doit être au moins égale à 15 fois l'épaisseur de la tôle terminée.

« Les tôles d'acier seront livrées au constructeur après avoir subi, chez le fabricant, un recuit total après laminage.

« Le bulletin de livraison des tôles portera devant chaque tôle le numéro de la coulée et la composition chimique de chaque coulée.

« Toutes les tôles d'acier sans exception seront commandées par le constructeur 10 centimètres plus longues, de manière à ce qu'on puisse prélever au moins deux éprouvettes de traction, conformes au modèle de l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur, et une éprouvette pour le pliage après trempe.

« Les essais à la traction et au pliage seront faits par les soins de l'Association, et sur chaque tôle ; la confection des éprouvettes sera à la charge du constructeur.

« Aux essais à la traction, chaque tôle d'acier devra remplir les conditions suivantes :

« Essais sur les tôles au naturel après recuit chez le fabricant :

1° — Résistance à la rupture maxima : 40 kilogrammes par millimètre carré ;

2° — Allongement % sur 200 millimètres à la rupture, mimimum : 30 %

« Essais sur les tôles, les éprouvettes ayant été trempées dans l'eau à 28° après avoir été portées au rouge cerise :

1° — Résistance à la rupture maxima : 47 kilogrammes par millimètre carré ;
2° — Allongement % sur 200 millimètres à la rupture, minimum : 18 $^0/_0$.

« Les essais de pliage se feront sur des morceaux de tôle de 20 centimètres de longueur et 4 centimètres de largeur, après avoir été trempés comme il est dit ci-dessus ; ils devront pouvoir être repliés en deux, bord à bord, sans que sur le dos et les côtés latéraux paraisse aucune crique ou gerçure.

« Toute tôle qui ne remplirait pas ces conditions serait refusée.

« Pour la construction proprement dite, outre les soins tout particuliers avec lesquels la chaudière sera traitée, le constructeur devra, sous sa responsabilité, exécuter les prescriptions suivantes :

« Tous les trous de rivets pourront être poinçonnés sur tôle plate à 6 millimètres de moins que le diamètre définitif.

« Les tôles seront envirolées et les 6 millimètres restant enlevés à la mèche américaine, travaillant en une seule fois sur les deux tôles correspondantes.

« Aucune pièce ne pourra être rivée avant que le percage ait été accepté par l'Association des Propriétaires d'appareils à vapeur.

« Tous les trous de communication, sur les communications, sur les bouilleurs et le corps cylindrique, seront percés à la mèche ; le bédane est absolument prohibé.

« Les chauffes partielles faites sur les tôles du corps cylindrique, pour faire coller les bords de la communication, sont prohibées. »

On remarquera que dans ces conditions nous admettons que la masselotte à faire tomber pour chaque lingot, et qui représente 30 à 35 $^0/_0$ du poids total, se trouvera prise entièrement à la partie supérieure du lingot.

La Marine et l'Artillerie pour les aciers à tôles, profilés, ferrures, barres, exigent d'après leur cahier des charges du 1er juillet 1887 :

« On utilisera seulement la partie moyenne de chaque lingot, on détachera à « l'extrémité supérieure une chute, au moins égale à 28 $^0/_0$ du poids total, et au « pied une chute au moins égale à 4 $^0/_0$. MM. les Sous-Inspecteurs auront la « faculté de réduire cette proportion, suivant que les procédés de fabrication « conduiront à une diminution de retassure plus ou moins forte. »

## Résumé

*Texture des fers.* — Les fers en général se classent d'après leur texture en fers à *grains*, ou à *nerfs* ou *mixtes ;* la texture n'a pas besoin d'autre définition, elle se reconnaît à la cassure.

Le *Grain* doit être uniforme, demi-fin, de couleur gris-plombé, il ne doit pas présenter de facettes brillantes et larges.

Le *Nerf* doit être blanc, sans éclat, délié et allongé, et devra présenter de petits crochets aux points de séparation, les fibres ne doivent être ni courtes ni noirâtres.

La texture des tôles de fer doit être à nerf fin parfaitement homogène.

*But des épreuves.* — Les épreuves à froid et à chaud ont pour but d'apprécier la ténacité, l'élasticité, l'homogénéité, la ductilité et la soudabilité du métal.

*Ténacité et élasticité.* — Ces deux qualités du métal sont constatées par des épreuves de traction à froid.

Il faut toutefois remarquer que les essais de traction, comme nous le verrons plus loin, peuvent donner des renseignements très exacts sur la ductilité du métal par l'examen des allongements linéaires et de la striction.

*Homogénéité.* — Pour constater l'homogénéité du métal, on détache un certain nombre de pièces, en les frappant en porte-à-faux sur une enclume avec un marteau à devant, après incisions au burin d'une partie de la section.

La cassure doit dénoter un fer parfaitement homogène à nerfs, ou à grains fins, ou mixte, d'après les indications de la soumission ou de la commande.

*Soudabilité.* — Pour éprouver si le fer se soude bien et si son grain ne change pas sensiblement sous l'action des chaudes, on tronçonne un certain nombre de barres en leur milieu et on réunit ensuite les deux bouts de chaque barre par une bonne soudure ; après cette opération, on confectionne avec les barres, ainsi qu'il est dit plus haut, des barreaux d'épreuves contenant les soudures.

Ces barreaux, essayés à la traction, doivent donner, pour la résistance et l'allongement, des résultats équivalents à moins de cinq pour cent (5 $^0/_0$) près, aux résultats exigés pour les fers de même catégorie non soudés, d'après le cahier des charges de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. La Compagnie de l'Etat accorde les écarts de 5 % pour la résistance et 25 % pour l'allongement.

*Ductilité.* — La ductilité du métal est éprouvée dans la pratique principalement par des épreuves à chaud ou à froid qui sont :

1° Pour les fers de forge :

Epreuves des crochets ;
Epreuves des trous ;
Epreuves du rabattement ;

2° Pour les tôles de fer :

Epreuves du pliage ;
Epreuves du cylindre ;
Epreuves de la calotte sphérique ;
Epreuves de la boîte à base carrée.

3° Par des épreuves de traction à froid qui permettent d'étudier les allongements et la striction.

Pour les tôles de fer, on opère aussi à froid, pour se rendre compte de la ductilité, les opérations de :

Epreuves du poinçonnage ;
Epreuves du pliage.

---

# Essais à la traction

Parmi les moyens d'investigations mis à la disposition des ingénieurs et des constructeurs, pour rechercher les qualités d'un métal, les essais à la traction tiennent certainement la première place.

Il est fort rare que l'on fasse subir à la matière les essais complets de traction, compression, flexion, chocs, forgeage, soudage, qui permettraient de se rendre un compte exact de toutes les qualités diverses que possède le fer ou l'acier en essai.

Un essai à la traction bien fait paraît suffire et remplace ces différentes épreuves ; il donne évidemment des renseignements très exacts sur l'élasticité, la ténacité et la ductilité qui sont les points essentiels à rechercher dans le travail des métaux, mais ne peut donner que de bien faibles indices sur la manière dont le métal se conduira sous l'action des chocs plus ou moins violents.

L'importance des épreuves de traction est telle que bien des usines et des auteurs ont pris, pour base de la classification des fers et des aciers, uniquement les résultats fournis par ces essais.

Nous croyons donc devoir étudier avec assez de détails les questions si complexes soulevées par les essais à la traction.

## INFLUENCE DU MODE DE PRÉPARATION DES BARREAUX

Les résultats obtenus dans les essais à la traction sont influencés, non seulement par les formes et les dimensions des barreaux d'épreuve, mais aussi par

la manière dont ils sont prélevés dans les pièces, suivant qu'ils sont découpés aux machines-outils, ou forgés, ou laminés à chaud ou à froid.

Nous allons rechercher l'influence de certaines manières d'opérer dans la fabrication des éprouvettes.

## Influence du cisaillage et du poinçonnage

Dans les tôles principalement, on enlève très souvent la bande de tôle, dans laquelle on prélèvera les éprouvettes à l'aide de la cisaille de telle façon que les deux rives du métal ont été cisaillées ; il y a donc un assez grand intérêt à se rendre compte de l'influence de cet outil sur le métal.

EXPÉRIENCES DE M. BARBA [1]. — Cet ingénieur a étudié cette question importante sur des tôles d'acier, il a conclu de ses expériences opérées sur des tôles de 7 millimètres à 12 millimètres d'épaisseur :

« 1° Que les effets du poinçon et de la cisaille sont essentiellement locaux et « ne s'étendent que sur une zone restreinte, d'une largeur inférieure à 1 milli- « mètre sur les bords de la rive cisaillée ou du trou poinçonné ;

« 2° Qu'aucune fente ou crique n'existe dans la partie altérée ;

« 3° Que la trempe détruit les effets de la cisaille ou du poinçon, en ramenant « le métal à l'état où il serait si la cisaille ou le poinçon avaient été remplacés « par les machines à raboter ou à forer ;

« Que le recuit seul ou après trempe détruit, comme la trempe seule, les alté- « rations de la cisaille et du poinçon. »

M. Barba explique ces résultats en admettant que la cisaille et le poinçon produisent, sur le métal soumis à leur action, une pression considérable mais toute locale, bien supérieure à la limite d'élasticité, qui fait comprendre la diminution ultime d'allongement à la rupture.

Mais, d'un autre côté, cette pression exagérée a provoqué la dissolution du carbone mélangé et produit, dans la partie du métal soumise à l'action des outils, une véritable trempe, ce qui expliquerait l'augmentation de dureté et de ténacité, c'est-à-dire de résistance à la rupture.

Sans discuter ces explications, le point principal à noter comme conséquence des essais de M. Barba, c'est que si nous enlevons à la machine-outil, sur les rives de nos barreaux d'épreuves, cisaillés ou poinçonnés, 1 millimètre à 2 millimètre de métal, la partie restante sera dans son état naturel et nullement soumise aux perturbations des opérations qu'elle aura supportées.

Le résultat sera le même si on recuit l'éprouvette après cisaillage ou poinçonnage.

1. Etude de l'emploi de l'acier dans les constructions, par J. Barba. — Paris, Baudry, 1874.

Expériences de M. Joessel, ingénieur de la marine. — En 1872, M. Joëssel a publié des expériences les plus intéressantes sur les fers, les fontes et les aciers ; il a entrepris toute une série d'essais sur des bandes de tôles cisaillées à différentes largeurs ; ce qui les avaient courbées en arc de cercle, elles ont été redressées ensuite les unes à chaud, les autres à froid.

Les tôles essayées étaient :

Tôle commune de 7 millimètres d'épaisseur.
Tôle ordinaire de 7 » »
Tôle supérieure de 5 » »
Tôle fine de 10 » »
Tôle en métal fondu de 18 millimètres réduite à 8 millimètres à la machine à raboter, provenant de Terre-Noire.
Tôle en métal fondu de 18 millimètres réduite à 8 millimètres, à la machine à raboter, provenant de l'usine de Terre-Noire.

Nous extrayons du tableau, publié par M. Joëssel, les chiffres des deux bandes extrêmes, la plus petite et la plus large.

| DÉSIGNATION commerciale des tôles. | Largeur des bandes | BANDES REDRESSÉES A CHAUD AU MAILLET | | | | BANDES REDRESSÉES A FROID AU MARTEAU | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sens du laminage | | Sens transversal | | Sens du laminage | | Sens transversal | |
| | | Résistances. | Allongements. | Résistances. | Allongements. | Résistances. | Allongements. | Résistances. | Allongements. |
| | m/m | | | | | | | | |
| Tôle commune de 7 millim. d'épaisseur. | 18 | 40.17 | 5.83 | 36.52 | 3.41 | 43.82 | 3 » | 43.82 | 2 » |
| | 43 | 37.21 | 6.91 | 31 » | 2.25 | 40.20 | 3.91 | 34 » | 1.25 |
| Tôle ordinaire de 7 millim. d'épaisseur. | 18 | 33.91 | 7.16 | 32.19 | 2.83 | 39.12 | 3.50 | 37.79 | 2.91 |
| | 43 | 34.65 | 16 » | 29.06 | 3.83 | 33.14 | 5.75 | 29.83 | 2.33 |
| Tôle supérieure de 5 millim. d'épaisseur. | 18 | 36.52 | 10.66 | 36.52 | 10.66 | 32.86 | 9 » | 36.52 | 6.66 |
| | 43 | 31.30 | 15.16 | 32.15 | 6.41 | 31.30 | 17.66 | 33.63 | 8.50 |
| Tôle fine de 10 millim. d'épaisseur. | 18 | 38.66 | 24.50 | 34.69 | 6 » | 43.80 | 12.50 | 38.34 | 4.16 |
| | 43 | 33.67 | 28.16 | 34 26 | 13 » | 38.07 | 21 » | 36.34 | 6.33 |
| Tôle en métal fondu de 18 millim. réduite à 8 millim. à la machine à raboter provenant de l'Usine de Terre-Noire. | 18 | 51.24 | 19.30 | 48.36 | 15.13 | 57.06 | 8.16 | 52.08 | 8.24 |
| | 43 | 46.83 | 20.80 | 46.51 | 21.58 | 52 » | 11.80 | 53.18 | 10.80 |
| Tôle en métal fondu de 18 millim. réduite à 8 millim. à la machine à raboter provenant de l'Usine de Terre-Noire. | 18 | 47.93 | 21.83 | 48.61 | 17.33 | 54.41 | 8.29 | 47.93 | 7.66 |
| | 43 | 45.94 | 21.41 | 45.40 | 18.99 | 45.40 | 10.87 | 46.36 | 14.37 |

« La cisaille, dit M. Joëssel, a donné à toutes les bandes la même courbure.
« Le martelage qu'elles ont subi représente donc le travail nécessaire pour les
« redresser du même arc.

« Les bandes formaient six lots, composés chacun de six bandes de largeurs
« croissantes de 5 en 5 millimètres depuis 18 millimètres jusqu'à 43 millimètres,
« dans le but d'étudier l'effet du cisaillement sur les tôles. L'opinion commune
« est que cette opération déchire leurs bords en y produisant de petites fentes
« transversales, qui peuvent devenir plus tard, l'origine de ruptures. S'il en était

« ainsi, le cisaillement serait accusé par les résistances de rupture des bandes, « qui devraient aller en diminuant, en même temps que leurs largeurs.

« Le tableau qui précède montre que c'est le contraire qui a lieu. Les résis- « tances de rupture des bandes de chaque lot, à peu d'exceptions près, augmen- « tent quand la largeur des bandes diminue, et *vice-versâ* pour les allongements. « Le même phénomène se présente pour les bandes martelées, comparées à celles « qui ont été redressées à chaud, au maillet. La cisaille agit donc, dans cette « circonstance, à la manière du marteau. C'est en comprimant fortement les « tôles entre le couteau et le support fixe de la machine, qu'elle les affaiblit. Il « en est de même du poinçon.

« Les fatigues que supportent les tôles, en les cisaillant, ou en les poinçonnant, « augmentent, par suite, avec leur épaisseur. Un moyen de les diminuer consiste « à répartir, sur une plus grande étendue, la pression des tôles sur leurs supports, « au moment de l'opération. On obtient ce résultat, dans les machines à cisailler, « en assujettissant fortement les tôles sur leurs supports, et, dans les machines à « poinçonner, en augmentant le diamètre de la matrice, relativement à celui du « poinçon. Ces conséquences sont vérifiées par les faits.

« Si on étudie maintenant, comparativement, les actions du cisaillement et du « forgeage à froid sur des tôles de diverses natures, on remarque que les tôles « douces sont moins affectées que les tôles aciéreuses par le forgeage, mais qu'elles « le sont davantage par le cisaillement.

« Dans le tableau qui précède, la tôle supérieure de 5 millimètres se classe au « premier rang par sa douceur. Ses éléments de rupture, à l'état naturel, peuvent « être considérés comme étant ceux de la bande la plus large redressée à chaud, « au maillet. Or, dans cette tôle, les allongements ont varié de 10,66 à 15,16 « pour les bandes longitudinales redressées à chaud, et de 9,00 à 17,66 pour celles « redressées à froid, lorsque leurs largeurs ont passé de 18 à 43 millimètres.

« Dans les mêmes circonstances, les allongements des tôles en métal fondu « ont à peine varié.

« Quant aux résistances de rupture, elles ont peu changé dans l'un et dans « l'autre cas, un peu plus cependant pour les tôles d'acier que pour les tôles de « fer. Néanmoins, en prenant pour base les résistances vives de rupture, il ressort « du tableau que ces dernières ont été relativement plus affaiblies par les ci- « saillements que les tôles d'acier.

« En comparant ensuite, pour chacun de ces métaux, les allongements des « bandes longitudinales redressées à chaud, à ceux des mêmes bandes redressées « à froid, on voit, au contraire, que pour la tôle douce, il n'y a pas eu de dimi- « nution sensible, tandis que pour les tôles d'acier, les diminutions se sont élevées « jusqu'à 50 %. Les tôles d'acier ont donc beaucoup plus souffert par la défor- « mation et le redressage à froid, que la tôle de fer.

« L'examen des autres tôles conduit à des appréciations analogues, et semble

« montrer que le degré d'épuration des matières intervient aussi dans les modi-
« fications que subissent les éléments de leur ténacité par le martelage, le poin-
« çonnage, le cisaillement et probablement les autres opérations mécaniques du
« même ordre. Les fers mal épurés paraissent se comporter, sous ce rapport,
« comme ceux qui sont imparfaitement affinés, c'est-à-dire comme les aciers.

« Les conclusions que nous voulons recueillir de ces considérations, c'est que
« les fers, comme les aciers, sont affectés par les déformations à froid et qu'il importe
« de les éviter le plus possible, ou au moins de les faire suivre d'un recuit, de
« manière à remettre les molécules dans un état de tension uniforme.

Les expériences de M. Joëssel confirment donc les résultats obtenus par M. Barba.

M. Gallon, ingénieur de la marine, a publié un travail très intéressant en 1887 sur le même sujet.

Les conclusions de cet ingénieur étant absolument opposées à celles de ses deux collègues, je n'ai pas cru devoir en faire un simple résumé, et je reproduis l'extrait du rapport de M. Gallon qui accompagne la circulaire ministérielle du 2 Septembre 1887.

Note de M. Gallon, ingénieur de la marine. — « *Influence du cisail-*
« *lage.* — Quand on cisaille une tôle, et qu'on la laisse oxyder, on remarque
« que le périmètre de la tôle s'est oxydé plus que la partie centrale. Si on examine
« de près cette oxydation du périmètre, on y trouve une série de stries parallèles,
« qui rappellent les ondulations produites par une pierre qui tombe dans l'eau.
« Ces stries sont causées par la lame de la cisaille qui refoule devant elle les mo-
« lécules du métal, en modifiant la constitution de la tôle. La zône ainsi altérée
« forme une bande qui n'a pas moins de 5 centimètres de largeur. On a même
« eu occasion de remarquer à Guérigny un lot de tôle, dans lequel les stries pro-
« venant du cisaillage et accusées par l'oxydation ultérieure, s'étendaient jusqu'à
« 7 ou 8 centimètres de la rive de la tôle. Il est clair qu'une barrette d'essai prise
« dans cette région peut donner des résultats insuffisants.

« *Bande détachée par cisaillage.* — Cette influence du cisaillage que l'on
« vient d'analyser, se reproduit de la même façon sur la bande détachée de la
« tôle par la cisaille. En outre, elle s'aggrave sur cette bande par les phénomènes
« de torsion, qui sont presque nuls sur la tôle et qui sont extrêmement marqués
« sur la chute, surtout quand cette chute est étroite. Si, en effet, on détache
« d'une tôle une bande ayant 8 ou 10 centimètres de largeur, on trouve que cette
« bande est cintrée dans les deux sens ; si même la largeur de la bande n'était que
« de 1 ou 2 centimètres, le cisaillage lui ferait faire une ou deux révolutions par
« mètre, et on obtiendrait une espèce de tire-bouchon. Si donc on voulait sou-
« mettre à un essai de traction une bande étroite détachée par cisaillage, on

« aurait de mauvais résultats, car le métal est profondément altéré; il a subi ce « refoulement que nous avons indiqué plus haut, et en outre, en se cintrant dans « les deux sens, il a pris une déformation permanente, indiquant que sa limite « d'élasticité a été largement dépassée et que, par suite, ses qualités de résistance « et d'allongement ont été déjà notablement diminuées. Si, en outre, ne tenant « aucun compte de ces phénomènes, on redresse cette bande à froid sur un enclume, « en la frappant à coups de marteau, on lui redonne uneseconde déformation per- « manente en sens inverse de la première : on complète ainsi la destruction déjà « commencée, et la barrette d'essai provenant d'une bande ainsi traitée ne peut « donner que des résultats médiocres et qui doivent être rejetés.

« Il est donc essentiel de bien prendre les barrettes d'essai, et les fournisseurs « n'y manquent jamais : quand ils s'engagent à livrer des tôles donnant 42 kilo- « grammes et 20 %, ils ne cherchent pas à faire mieux, aussi sachant que leurs « tôles ne dépassent guère les conditions exigées, ils mettent un soin extrême à « éviter que leurs barrettes d'épreuve subissent la moindre altération ; et les « résultats constatés en usine avec des barrettes aussi soignées, ne se reproduiront « qu'à la condition qu'on fera toujours les essais de la même manière.

« D'après ces faits, le procédé suivant paraît être le meilleur à suivre dans le « découpage des barrettes, et être celui qui concilie autant que possible la rapidité « de l'opération, l'économie dans la consommation des tôles pour essai et la « nécessité capitale de ne pas altérer le métal qui doit subir l'épreuve.

« *Barrettes de tôles.* — On se servira pour couper la tôle d'une cisaille dont « le tablier, aussi long que possible, sera disposé de façon à pouvoir permettre « de maintenir sur ce tablier, avec des presses en « fer, les bandes de tôles qui doivent être découpées.

« On commence par détacher à un des bouts de « la feuille, et dans le sens de sa longueur, une chute « entière A B C D, ayant 50 centimètres de long, « et qui fournira la barrette en long et la barrette « en travers pour essais de traction ainsi que les barrettes de pliage pour essais « de trempe, quand il y a lieu d'en faire.

« On trace sur la chute, avec un cordeau blanchi, les lignes MN, FE, GH « placées aux distances indiquées sur le croquis ci-dessus ; et on frappe le poin- « çon à ancre aux quatre points marqués sur le plan, en maintenant ce poinçon « toujours dans la même direction. On remarquera que la direction de ce poin- « çon sera suffisante, quand les barrettes seront terminées, pour indiquer si elles « ont été prises en long ou en travers.

« On refend la chute A B C D suivant la ligne E F, tracée à 50 centimètres « de la rive B C ; la partie A E F D, qui repose sur le tablier, a assez de sur- « face pour qu'il soit inutile de la maintenir avec les presses. On reprend la par-

« tie E B C F qui vient de tomber, on saisit fortement avec des presses sur le « tablier la partie E B H G qui, ayant à fournir la barrette, doit être maintenue « absolument plane, et on fait tomber la chute G H C F, qui est conservée, « pour le cas où on voudrait prendre une seconde barrette en travers.

« Le rectangle E B H G, enveloppe de la barrette, et qui a 20 centimètres de « largeur, est alors ramené à la largeur de 10 centimètres par trois coups de « cisaille de chaque côté, en ayant toujours grand soin de maintenir sur le tablier, « avec des presses à main, la partie qui doit donner la barrette. Le premier coup « de cisaille enlèvera une petite bande de 25 millimètres de largeur environ ; le « deuxième coup, une bande de 15 millimètres, et le dernier coup une bande de « 10 millimètres : ces bandes faisant en tout les 5 centimètres qui doivent être « enlevés de chaque côté. La largeur décroissante des petites bandes cisaillées a « comme effet, de diminuer l'antagonisme qui se produit, lors de l'attaque de la « cisaille, entre les deux morceaux de tôle qui doivent être séparés : plus il y a « d'écart entre la résistance des deux bandes en question, plus le grand morceau « reste intact : le petit subit à lui seul les efforts de formation et de torsion.

« Avec ces précautions, qui sont suivies dans les grandes usines, et notamment « au Creusot, où la fabrication des innombrables barrettes qu'il faut casser cha- « que jour est devenue une assez grosse question, parfaitement résolue, on arrive « à obtenir des bandes absolument planes et qui n'ont subi aucune fatigue.

« *Insuffisance des cisailles des usines.* — Dans quelques usines les cisailles « peuvent ne pas être suffisamment longues. Dans ce cas, si les cisailles ne se « prêtent absolument pas à l'installation décrite plus haut, on tournera la diffi- « culté en découpant dans la tôle les rectangles E B H G, M N F E, avec une « poinçonneuse actionnant un poinçon méplat, qui agit à 8 ou 9 centimètres de « l'arête future de la barrette finie, et dont l'action n'est pas trop dommageable; « la machine à raboter à froid aura seulement, dans ce cas, un peu plus d'ou- « vrage. »

Nous avons eu occasion de faire des milliers d'essais à la traction de tôles d'acier pour générateurs. D'après le cahier des charges ces tôles doivent être recuites par le fournisseur après cisaillage.

Pour prélever les éprouvettes, on enlève à la cisaille sur un des côtés de la tôle une partie de 100 millimètres qui sera la largeur des têtes ; le corps du barreau étant de 25 millimètres, on enlève à la machine-outil 37 mil., 5 de chaque côté de l'axe de la bande après avoir eu soin de redresser le métal à chaud comme l'indiquent les essais de M. Joëssel.

Dans ces conditions nous n'avons jamais trouvé d'anomalie dans les résultats dus au cisaillage des éprouvettes.

## Influence de l'étirage à chaud au marteau ou au laminoir sur le métal

OPINION DU D^r PERCY. — Le docteur Percy, dans son grand traité de métallurgie a étudié cette question importante; il prétend que la résistance des barres d'acier et de fer augmente jusqu'au quatrième et cinquième corroyage, pour diminuer ensuite jusqu'au dixième ou onzième.

EXPÉRIENCES DE M. CLAY. — M. Kirkaldy, dans son magnifique ouvrage sur les essais de résistance, donne les renseignements les plus intéressants sur des essais faits par M. Clay et par lui-même.

« On a pris du fer puddlé à nerfs de qualité ordinaire. On a choisi dans ce « fer deux échantillons que l'on a mis de côté, en les marquant du n° 1, puis on « a traité au marteau le massiot restant qui avait 5 pieds de haut : on l'a ensuite « réchauffé et laminé en deux barres que l'on a désignées par le n° 2. Réservant « de nouveau deux échantillons pris au milieu de ces barres, on a fait subir à ce « qui restait les mêmes opérations, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on eut obtenu « un fer travaillé douze fois. »

« Le tableau suivant donne la charge de rupture de chacun des échantillons « de numéros différents. »

| | | |
|---|---|---|
| N° 1, fer puddlé naturel . . . . . | 30$^{k.}$ 8 | par $^m/_m{}^2$. |
| N° 2, 1$^{er}$ corroyage . . . . . . . | 37 k. | — |
| N° 3, 2$^e$ — . . . . . . . . | 41 k. | — |
| N° 4, 3$^e$ — . . . . . . . . | 41 k. | — |
| N° 5, 4$^e$ — . . . . . . . . | 38 k. | — |
| N° 6, 5$^e$ — . . . . . . . . | 43 k. | — |
| N° 7, 6$^e$ — . . . . . . . . | 41 k. | — |
| N° 8. 7$^e$ — . . . . . . . . | 38 k. | — |
| N° 9, 8$^e$ — . . . . . . . . | 38 k. | — |
| N° 10, 9$^e$ — . . . . . . . . | 37 k. | — |
| N° 11, 10$^e$ — . . . . . . . . | 36 k. | — |
| N° 12, 11$^e$ — . . . . . . . . | 30 k. | — |

« On voit que la qualité du fer a été en s'améliorant régulièrement jusqu'au « n° 6, (la petite différence que nous donne le n° 5 pouvant probablement être « attribuée à un défaut de l'échantillon), et que depuis le n° 6 nous redescendons « par une progression inversement semblable. »

« M. Clay donne aussi les résultats de quelques essais faits sur des échantil- « lons découpés dans le « Canon-monstre », dont les dimensions sont les sui- « vantes : »

| | |
|---|---|
| Longueur . . . . . . . . . | 15 pieds 10 pouces. |
| Diamètre à la base . . . . . . | 44 pouces. |
| — à la bouche . . . . . | 27 pouces. |

« Les résultats ont été comparés avec ceux des essais faits sur le fer avec « lequel il avait été fabriqué. Voici les charges de rupture en kilogrammes par « millimètre carré : »

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fer primitif . . . . . . . . . . . | moyenne | 34 | kilos. |
| Bouche du canon (sens du corroyage) . | — | 35 | — |
| — (sens perpendiculaire au corroyage) . . . . . . . . . | — | 30 | — |
| Alésures du canon travaillées à la houille. | — | 43 | — |
| — — au bois . . | — | 53 | — |

« Comme M. Clay, dans les expériences sur les effets produits par les cor- « royages successifs donnés à une même barre, a trouvé que la résistance aug- « mente jusqu'au cinquième corroyage et décroît ensuite, M. Kirkaldy regrette « que l'on n'ait pas déterminé en même temps la striction, car la diminution de « résistance pourrait tenir à ce que le fer est devenu plus doux pendant la suite « des opérations. »

« M. Kirkaldy cite d'ailleurs l'expérience suivante qui lui est personnelle : »

« Afin de déterminer à quel point un martelage additionnel améliorerait la « qualité du fer, tel qu'il existait dans un arbre à manivelles, trois masses de « 1 pouce 3/4 carré ont été forgées à 1 pouce 1/8 de diamètre, et amenées à « 1 pouce sur le tour ; on a obtenu les résultats suivants : 26,508 kilogrammes, « 23,060 kilogrammes., 22,608 kilogrammes avec des strictions respectives de « 17,2 ; 7,9 ; 9,8 %. Une éprouvette simplement tournée a donné 20,193 kilo- « grammes et 12,5 % de striction. »

« M. Clay a fait des expériences du même genre sur l'acier puddlé, et il a « obtenu les résultats suivants : »

| | | | |
|---|---|---|---|
| N° 1 | acier puddlé en barres. . . | | kilos. |
| N° 2 | le même acier travaillé. . | 85 | — |
| N° 3 | — . . . | 78 | — |
| N° 4 | — . . . | 85 | — |
| N° 5 | — . . . | 78 | — |
| N° 6 | — . . . | 78 | — |
| N° 7 | — . . . | 64 | — |
| N° 8 | — . . . | 64 | — |
| N° 9 | — . . . | 64 | — |
| N° 10 | — . . . | 64 | — |

« On voit que dans ce cas la résistance à la rupture a augmenté tout d'un « coup. Nous avons exprimé le regret que l'on n'ait pas mesuré en même temps « la striction, attendu que la diminution de résistance tient peut être à ce que « le métal devient plus doux. »

« Cette supposition paraît confirmée par les remarques de M. Clay au sujet

« des expériences précédentes : « La cassure dans les échantillons, dit-il, quand « elle est produite par le marteau de la manière usuelle, présente à l'œil une « très légère différence. La couleur et la grosseur des cristaux sont les mêmes, à « peu de chose près, dans les numéros 2 et 10, mais si la rupture est due à la « traction, alors apparaît une différence des plus marquées : les numéros supé- « rieurs présentent dans leur cassure une fibre soyeuse, sans que les caractères « de l'acier soient altérés, car le n° 10 durcit, passe par les différentes teintes, « enfin possède toutes les propriétés distinctives de l'acier. »

Expériences de M. le Basteur. — Pour étudier les modifications que le forgeage peut amener dans les propriétés physiques de l'acier, cet ingénieur partagea en deux un lingot d'acier Siemens-Martin et en forma des barres carrées de 36 millimètres de côté, au marteau pilon pour l'un des morceaux, et au laminoir pour le second ; puis on découpa à la machine-outil des éprouvettes de 14 millimètres de diamètre.

A la traction on obtint les résultats suivants :

| | | |
|---|---|---|
| Lingot étiré au laminoir<br>Moyenne de 5 épreuves. | Résistance par millim. carré.<br>Allongements . . . . | 40 k.<br>13.5% |
| Lingot étiré au marteau-pilon.<br>Moyenne de 5 épreuves. | Résistance par mill. carré<br>Allongement. . . . | 52 k.<br>17 % |

Dans la même coulée, on avait fait des lingots pour bandages. Dans un de ces bandages, on préleva des morceaux qui furent laminés en barres carrées, ayant pour côté 35, 45 et 60 millimètres ; comme tout à l'heure, on tourna dans ces barres des éprouvettes cylindriques de 14 millimètres de diamètre, qui furent soumises à des essais de traction.

| ÉPROUVETTES CYLINDRIQUES de 14 m/m de diamètre, provenant de : | RÉSISTANCE par m/m². | ALLONGEM. %. |
|---|---|---|
| | kil. | |
| 1° Barre laminée ayant une section carrée de 60 m/m de côté. — Moyenne de 5 essais . . . . | 55.0 | 18.6 % |
| 2° Barre laminée ayant une section carrée de 45 m/m de côté. — Moyenne de 5 essais. . . . . | 56.0 | 20.8 |
| 3° Barre laminée ayant une section carrée de 35 m/m de côté. — Moyenne de 5 essais. . . . . | 54.6 | 23.1 |

Les éprouvettes provenant du bandage avaient subi un forgeage bien plus considérable que celles provenant du lingot, et, comme elles ont une résistance

et un allongement beaucoup plus considérables que les premières, il faut bien admettre que le forgeage ou le laminage augmente très sensiblement les propriétés de ténacité et d'allongement de l'acier.

## Influence du laminage et du martelage à froid

EXPÉRIENCES DE FAIRBAIRN. — Cet éminent ingénieur a opéré l'essai suivant sur du fer :

| | RÉSISTANCE à la rupture par m/m². | ALLONGEM. total sur 254 m/m. | ALLONGEM. %. |
|---|---|---|---|
| | kil. | m/m | |
| Barre à sa sortie du laminoir. . . . | 41 | 50,8 | 20 0 |
| Même barre tournée à un pouce anglais de diamètre. . . . . . . . | 42 | 55,8 | 21.0 |
| Même barre laminée à froid et tournée à un pouce anglais de diamètre . | 62 | 20,06 | 7,8 |

Le laminage à froid augmente donc pour le fer la charge de rupture, et diminue considérablement l'allongement.

EXPÉRIENCES DE M. BARBA. — M. Barba a étudié cette question pour l'acier, sur des cornières du Creusot et des tôles $B_{10}$ et $C_{11}$ de la même usine.

La résistance moyenne des cornières du Creusot est, à l'état naturel, de 45 kilog. 7 par millimètre carré avec un allongement de 24,5 %.

On tailla dans des cornières des éprouvettes qui furent martelées énergiquement sur toute leur surface, puis amenées à une section uniforme et cassées à la machine.

La moyenne de 6 barettes de 60 millimètres de large donna :

| | | |
|---|---|---|
| Résistance à la rupture . . . . | 53 k. 8 | par millimètre carré. |
| Allongement % à la rupture . . | 17 2 | — |

Le martelage avait donc augmenté la résistance de près de 20 %, et diminué l'allongement d'une façon très sensible, caractères de la trempe; cette opération produit donc des effets de même nature que le cisaillage et le poinçonnage.

Pour les tôles, les résultats furent tout aussi significatifs.

| | | RÉSISTANCE à la rupture. | ALLONGEM. % |
|---|---|---|---|
| | | kil. | |
| Tôle d'acier $B_{10}$. | au naturel. | 41,3 | 32 |
| | après martelage. | 50,0 | 6 |
| Tôle d'acier $C_{11}$. | au naturel. | 39,3 | 35 |
| | après martelage. | 45,6 | 10 |

Les pertes des allongements seraient donc beaucoup plus considérables dans cette série d'expériences, mais on n'a pu faire qu'un essai pour chaque tôle et, de plus, le martelage fut plus énergique.

M. Barba, pour démontrer l'exactitude de ses idées, fait la remarque que, s'il est vrai qu'une barrette martelée subit une action analogue à la trempe, il suffirait de faire recuire une barrette après le martelage pour qu'elle reprenne ses qualités primitives de résistance et d'allongement.

Il prit un certain nombre de barreaux d'épreuves des cornières du Creusot, et les martela sur toute leur surface ; puis, après les avoir chauffés au rouge cerise, on les laissa se refroidir lentement ; on obtint alors à la traction, comme moyenne des essais :

| | |
|---|---|
| Résistance à la rupture . . . . . . . . . . . | 47 k. 2 |
| Allongement % à la rupture . . . . . . . . | 23 % |

Le métal avait donc repris ses qualités premières de ténacité et d'élasticité.

## Influence de la chaleur

On sait par la pratique que la chaleur a une influence considérable sur la résistance des fers ; il y a donc intérêt à rechercher dans quelle limite la résistance et l'élasticité des métaux varie avec la température du milieu ambiant.

Cette question a été l'objet d'un très grand nombre de travaux de Thürston, l'Institut Franklin, Fairbairn, Kirkaldy, le docteur Jenle, Peter Spence, Kollmann, Le Chatelier. M. Thürston a examiné les principaux travaux dans une note qu'il a publiée en 1873 ; il a admis les deux conséquences principales :

1° La résistance à la rupture par millimètre carré de section pour le fer, et le cuivre, varie, en général, en sens inverse de la température ;

2° La résistance vive de rupture du fer et du cuivre varie dans le même sens que la température.

Essais de M. Kollmann. — M. Forquenot, membre de la Commission centrale des machines à vapeur, a traduit de l'« *Engineering* » un extrait des recherches de M. Kollmann, sur la résistance du fer et de l'acier à des températures élevées.

Le fer fibreux, le fer à grain fin et l'acier Bessemer ont été soumis à des essais de traction à des températures progressives de 0 à 1 000 degrés.

Les trois métaux ont une allure à peu près semblable ; on ne discutera pas leurs différences, désirant seulement faire ressortir les grandes variations.

Jusqu'à 100 degrés, la résistance à la rupture des trois métaux ne diminue pas, et même jusqu'à 200 degrés pour le fer à grain et l'acier, celle du fer fibreux décroissant alors de 5 % à cette température.

Mais, à 300 degrés, les résistances à la rupture ne sont plus que de 90 °/₀ ; à 500 degrés, 40 °/₀ ; à 700 degrés, 20 °/₀ de la résistance du métal à la température ordinaire.

On avait depuis longtemps la notion de cette diminution de résistance, mais elle n'était pas exactement mesurée ; ces nombres font voir avec quelle facilité les fers surchauffés peuvent céder à la pression ordinaire de marche des générateurs.

La note ci-dessous est la reproduction de l'article de l'*Engineering :*

« En 1877-1878, M. Kollmann a fait, aux usines d'Oberhausen, une série d'expériences sur la résistance à la traction du fer et de l'acier à différentes températures et sur leur résistance à la compression. Les résultats de ces expériences ont été publiés dans les « *Verhandlunger des Vereins zur Beforderung des Gewerhfleisses.* »

» L'*Engineering* espère qu'à la prochaine occasion il pourra donner à ses lecteurs des détails complets sur ces expériences, et la manière dont elles ont été conduites ; quant à présent, il ne mentionne que quelques détails saillants.

» Les essais ont été faits sur du fer fibreux, sur du fer présentant une cassure à grain fin et sur l'acier Bessemer. Chacun de ces métaux a été essayé à des températures variant de 20 à 1 080 degrés centigrades, et, pour rendre possibles les comparaisons, les résultats des essais ont été réduits au tant pour 100 de la force de chaque métal à la température de congélation de l'eau ; la résistance à cette température était représentée par 100.

» Le tableau suivant donne un sommaire de ces résultats.

| TEMPÉRATURE | | FER fibreux. | FER à grain fin. | ACIER Bessemer. |
|---|---|---|---|---|
| Centigrades. | Fahrenheit. | | | |
| Degrés. | Degrés. | | | |
| 0 | 32 | 100 | 100 | 100 |
| 100 | 212 | 100 | 100 | 100 |
| 200 | 392 | 95 | 100 | 100 |
| 300 | 572 | 90 | 97 | 94 |
| 500 | 932 | 38 | 44 | 34 |
| 700 | 1 292 | 16 | 23 | 18 |
| 900 | 1 652 | 6 | 12 | 9 |
| 1 000 | 1 832 | 4 | 7 | 7 |

« On verra d'après ces résultats, qu'en général, aux températures correspondant aux pressions de vapeur les plus élevées, la résistance de l'acier Bessemer, du fer à grain fin, n'est pas altérée, tandis que celle du fer fibreux souffre, mais très faiblement. Au-dessus de 205 degrés centigrades (400 degrés Farh. environ), l'acier Bessemer paraît perdre de la résistance moins rapidement que le fer fibreux, et le fer à grain fin moins que l'acier, bien qu'à la température de 500 degrés centigrades la perte de résistance soit plus grande pour le Bessemer que pour les deux autres métaux. Cependant, ce résultat exceptionnel paraît provenir d'une erreur expérimentale. Une remarque plus importante, résultant de ces expériences, est, qu'entre 315 et 538 degrés centigrades (600 et 1 000 degrés Fahr.), une perte de force plus rapide et plus considérable se produit dans tous les métaux essayés, fait qui indique fortement le danger de surchauffer les tôles des chaudières. »

Essais de M. Adamson. — Aux séances de l'Institut du fer et de l'acier, tenues à Paris en 1878, M. Adamson a rendu compte d'essais qu'il avait entrepris pour étudier l'influence de la température sur les qualités de résistance et la malléabilité du fer et de l'acier.

M. Adamson a remarqué que les très bons fers et les aciers doux se travaillent facilement et résistent très bien au choc, jusqu'à une température de 220°, mais qu'à partir de 220 jusqu'à 375°, ils deviennent facilement aigres, et se brisent sous l'influence de chocs peu importants. Les métaux inférieurs sont absolument sans consistance à cette température.

Voici des essais à la traction :

| | CHARGE de tension maxima. | CHARGE au moment de la rupture. | ALLONGEM. à la rupture sur 127 m/m. |
|---|---|---|---|
| | kil. | kil. | |
| Fer en barre extra. . . . . . . | 39.2 | 36.1 | 27 |
| Fer en barre extra. . . . . . . | 30.4 | 19.9 | 34 |
| | | | ALLONGEM. à la rupture sur 254 m/m. |
| Acier doux. . . . . . . . . . | 43.3 | 36.7 | 30 |
| Acier doux Siemens-Martin. . . . | 41.6 | 35.3 | 27 |

Ces métaux de qualité supérieure présentaient donc à la température ordinaire des qualités de malléabilité très remarquables ; ils avaient aussi très bien supporté les épreuves de pliage à froid et à la chaleur rouge.

M. Adamson fit chauffer ces éprouvettes dans un bain de suif bouillant à 320° ; elles se rompaient au pliage et se brisaient net sous un coup de marteau.

Cette température spéciale, où les métaux deviennent *rouverains*, M. Adamson lui a donné le nom de « *colour heat* » ou « chaleur de couleur. »

Des observations, faites pendant plusieurs années, ont démontré à cet habile ingénieur que le fer très doux et très pur de la seconde expérience est le seul qui ne subisse pas l'influence de cette température, mais on voit que cette qualité est achetée au détriment de la résistance à la traction, puisque la charge de rupture est de 40 % plus faible que celle du premier échantillon du fer extra.

Expériences de M. Joessel. — M. Joëssel entreprit une série de plus de trois cents essais à la traction, sur du fer moyen supérieur très homogène, et porté à une température variant de 0 à 400° ; on a pris toutes les précautions pour que les essais se fassent aussitôt que les éprouvettes sortaient du bain d'huile ou de plomb fondu, qui était destiné à les porter à la température désirée ; de plus, on a tenu compte, autant que possible, de la perte de chaleur que le métal subissait pendant la durée de l'essai.

M. Joëssel a conclu de ses expériences :

1° Les résistances à la rupture du fer diminuent à partir de 0 jusqu'à 70°, où elles passent par un minimum, puis elles augmentent jusqu'à 180°, qui est un maximum, pour décroître ensuite régulièrement, au fur et à mesure que la température augmente.

2° Les allongements augmentent d'abord avec les températures, pour atteindre un maximum vers 20°, puis diminuent jusqu'à un minimum qui a lieu vers 100 à 110°, et augmentent ensuite sans cesse avec la température.

3° Les résistances vives de rupture présentent des variations sensiblement analogues à celles des allongements; toutefois, d'après la forme même de la courbe tracée par M. Joëssel, avec les résultats des essais, il y a lieu de se demander si, au-delà de 400°, la résistance vive ne diminuerait pas ou bien ne serait pas constante.

M. Joëssel fait remarquer que, d'après différentes expériences, auxquelles il a procédé, il lui semble « que les métaux forgés sont plus affectés par les variations de température que les métaux fondus. Mais ce n'est là encore qu'un « aperçu qui mérite de nouvelles recherches. »

Expériences de M. André Le Chatelier. — M. Le Chatelier a étudié les propriétés mécaniques des métaux et spécialement du fer, de l'acier et quelques alliages sur des fils recuits de $0^{mm},6$ de diamètre ; nous ne nous occuperons ici que du fer et de l'acier.

Il avait disposé ses expériences pour chercher à remplir les conditions suivantes :

« 1° Emploi d'échantillons identiques comme calibrage et composition chimique ; un fil de $0^{mm},6$ peut en effet être considéré comme ayant une composition « constante sur une grande longueur.

« 2° Chauffage suffisamment uniforme.

« 3° Mise en charge continue, sans chocs et avec une vitesse constante que « l'on peut régler à volonté. »

Un des points les plus intéressants des expériences de M. Le Chatelier serait la découverte d'un allongement spécial, dans les essais à la traction opérés à chaud.

« Il existerait également, dit M. Le Chatelier, d'après mes expériences (en « dehors des deux modes d'allongement connus, *l'allongement proportionnel* « et *l'allongement par striction*), un troisième mode d'allongement que je dé- « signerai sous le nom d'*allongement proportionnel par recuit* ; cet allonge- « ment est proportionnel en ce sens qu'il se produit sur toute la longueur du « métal en essai, au lieu de se localiser sur une faible longueur comme la stric- « tion ; mais il n'y a plus aucune relation entre l'allongement et l'effort qui le « produit : c'est-à-dire que, sous un effort constant, le métal s'allonge jusqu'à « rupture avec une vitesse sensiblement constante, vitesse qui peut être très « faible.

« Cet effet est dû à un recuit, qui détruit l'écrouissage au fur et à mesure de « sa production, avec une vitesse d'autant plus grande que la température est « plus élevée. Il en résulte que, pour une même charge, la vitesse d'allongement

« par recuit croît avec la température. A une même température, la rupture « peut être produite par des charges variables, et la vitesse d'allongement croît « alors avec la charge.

« L'allongement par recuit se produit dans tous les métaux à partir d'une « température convenable : dès la température de 15° pour le cuivre et l'argent; « au-dessous de 70° pour le zinc ; à partir de 280° pour l'aluminium, et de 350° « pour le bronze d'aluminium, le nickel et ses alliages.

« La charge minima nécessaire pour produire l'allongement par recuit, avec « une vitesse sensible (rupture en 30'), est assez forte à ces températures limites; « cette charge minima décroît rapidement avec l'élévation de la température « jusqu'à prendre une valeur très faible. On atteint alors la température de re- « cuit complet du métal, qui est de 150° pour le zinc, voisine de 500° pour l'alu- « minium, supérieure à 500° pour les autres métaux étudiés.

« Les allongements à la rupture, suivant les métaux et les températures, sont « composés d'un seul ou de plusieurs des trois modes d'allongement : propor- « tionnel, par recuit et par striction. Ainsi le nickel et le bronze d'aluminium « présentent, jusqu'à 350°, l'allongement proportionnel, et, au-dessus de 350°, « l'allongement proportionnel et par recuit ; le cuivre possède les trois modes « d'allongement à toutes les températures ; le zinc s'allonge à 150° par recuit « et par striction, et à 200° il ne s'allonge plus que par striction. Aussi les « allongements de rupture ne suivent-ils aucune règle précise. »

Le fer puddlé, essayé en fils fins, n'a donné que des résultats très irréguliers par suite de l'impureté du métal. Cet expérimentateur n'a donc pu agir que sur des fers ou aciers fondus très purs, contenant 0,35 à 0,40 de manganèse et de 0,05 (fer fondu) à 0,80 (acier mi-dur) de carbone.

La vitesse uniforme des essais a été de $1_k$,500 par millimètre carré de section et par minute.

La longueur utile de l'éprouvette a été de $0^m$,150.

Les expériences ont montré que le fer et l'acier se comportent d'une manière toute différente des autres métaux ou alliages, pour lesquels la charge de rupture diminue au fur et à mesure que la température augmente, tandis que les allongements produits par une même charge augmentent avec la température.

La vitesse de mise en charge sur les allongements est peu sensible.

Le tableau ci-contre résume les observations de M. Le Chatelier, sur le fer et l'acier.

« En résumé, dit M. Le Chatelier, il se produit, dans les propriétés mécani- « ques du fer et de l'acier fondus, deux modifications ; l'une se fait sentir à « partir de 80°, la seconde à partir de 240° environ ; ces modifications dépen- « dent à la fois de la température et de la vitesse de mise en charge, c'est-à- « dire du temps et des efforts auxquels le métal est soumis. Elles ne peuvent « avoir pour cause que des transformations se produisant sous l'influence simul-

| | | CHARGE DE RUPTURE va en décroissant de | ALLONGEMENT %. | OBSERVATIONS. |
|---|---|---|---|---|
| Première phase de 15° à 18° . . . . | Fer fondu. . . | $36^k7$ à $33^k3$ | 30 % | |
| | Acier fondu. . | 68.7 à 64.6 | | |
| | | CHARGE DE RUPTURE reste sensiblement constante | ALLONGEM. % varie entre | |
| Deuxième phase de 100° à 240° . . . | Fer fondu. . . | environ $35^k$ | 7 à 9 % | L'allongement n'est pas continu, il se fait par saccades, accompagnées de craquements. |
| | Acier fondu. . | 65 | 3 à 7 | |
| | | CHARGE DE RUPTURE | | |
| Troisième phase au-dessus de 240° . . | Fer fondu. . . | $44^k2$ de 250° à 300° puis diminue avec la température | Va en augmentant de 200° à 300° | L'allongement par recuit commence à se produire vers 350° |
| | Acier fondu. . | de $72^k8$ à 250° à $75^k9$ à 300° puis diminue avec la température | | |

« tanée de ces efforts et de la température, transformations qui sont d'autant « plus complètes que la température est plus élevée, et que le métal reste plus « longtemps soumis à l'action de ces efforts.

« Ces transformations sont permanentes et se traduisent, après refroidisse- « ment, par une élévation considérable de la limite élastique, de la charge de « rupture, et par une réduction notable de l'allongement.

« Parmi les nombreuses expériences que j'ai faites à ce sujet, je citerai la sui- « vante : 3 fils de fer fondu, d'une longueur de $0^m,20$, ont été chargés à 15° à « raison de 30 kilogrammes par millimètre carré, charge qui leur a donné un « allongement de 9 %. En cet état, ils ont été chauffés : le n° 1, à 74° ; le n° 2, « à 92° ; le n° 3, à 190°, chacun pendant 10 minutes. Après refroidissement, ils « ont donné les résultats suivants :

| | LIMITE ÉLASTIQUE | CHARGE DE RUPTURE | ALLONGEMENT |
|---|---|---|---|
| N°s 1 (74°) | 33 kg. 500 | 38 kg. 200 | 21 % |
| 2 (92°) | 36 » 600 | 37 » 400 | 2 |
| 3 (190°) | 40 » | 41 » 600 | 4 |

*Essais de M. Reinau.* — M. Reinau a opéré, non plus sur des fils, mais sur des fers en barre. Cet expérimentateur a fait varier les températures de — 25° à + 430° et il a trouvé, comme l'indiquent les chiffres ci-dessous, que le fer présentait un maximum de résistance à la rupture à 228°, et que pour des températures inférieures ou supérieures, les résistances diminuaient.

| Températures. | Charges maxima de résistance Nombre proportionnel. |
|---|---|
| — 25° | 69 |
| + 20° | 77 |
| + 100° | 80 |
| + 187° | 96 |
| + 228° | 100 |
| + 230° | 89 |
| + 430° | 24 |

*Essais de M. Bauschinger.* — M. Bauschinger a essayé les tôles de fer laminées à la couleur rouge sombre, et il a trouvé pour les charges de résistances maxima à la rupture :

1° Tôles puddlées. — Sens perpendiculaire au laminage.

| Charge maxima à la rupture . . . | Nombre proportionnel |
|---|---|
| A la température ordinaire . . . . | 100 |
| Au rouge sombre. . . . . . . . | 28,8 |

La tôle a donc perdu 71 % de sa résistance.

2° Tôle puddlée. — Sens du laminage ;

| Charge maxima à la rupture . . . | Nombre proportionnel |
|---|---|
| A la température ordinaire . . . . | 100 |
| Au rouge sombre . . . . . . . . | 16,9 |

La tôle a donc perdu 83 % de sa résistance.

En résumé on voit combien les différentes questions que soulèvent l'influence de la température sur la résistance du fer de l'acier présentent encore de lacunes, d'obscurité et même de contradictions.

Au point de vue pratique il semble pourtant se dégager de ces diverses expériences, que les métaux ne sont jamais portés a une température amenant un affaiblissement de résistance, sauf les cas où par manque de graissage, ou par suite d'accidents absolument anormaux, ils arrivent à s'échauffer jusqu'au rouge sombre.

En ce qui concerne les générateurs à vapeur, aux pressions de marche comprises entre 5 kilogrammes et 15 kilogrammes, correspondant à une température de 150° à 200°, il ne peut y avoir de diminution sensible de la résistance des tôles, sauf dans le cas où par manque d'eau, dépôts d'incrustation, ou de corps étrangers sur les tôles, des surfaces plus ou moins grandes des tôles peuvent être portées au rouge par suite de l'intensité du feu.

Un nombre notable d'accidents de chaudières n'a pas d'autres causes.

## Influence des tractions réitérées.

Expériences de Henri Tresca. — L'éminent sous-directeur du Conservatoire des Arts et Métiers a fait des expériences les plus intéressantes sur cette importante question.

Il a soumis à la flexion des rails de fer et d'acier ; pendant toute la période d'élasticité il a trouvé que les allongements croissaient proportionnellement aux charges, une fois la limite d'élasticité atteinte et dépassée notablement, les allongements croissaient plus rapidement que les charges.

M. Tresca obtenait ainsi des rails déformés d'une manière permanente ; il opérait sur cette nouvelle pièce comme sur les premières, chargeant légèrement pour rechercher la limite d'élasticité et, dans toutes ces expériences, la charge limite d'élasticité était supérieure à la précédente.

La limite d'élasticité reculait donc au fur et à mesure que la pièce était plus déformée par des charges croissantes antérieures.

M. Tresca conclut :

« Mais ce qui distingue surtout les expériences actuelles, c'est qu'elles dé-
« montrent que la limite d'élasticité s'éloigne pour une même barre, à mesure
« qu'elle a été préalablement soumise à des actions plus énergiques, se tradui-
« sant par des flèches permanentes de plus en plus grandes, et que, par la mise
« en fonction plusieurs fois répétée des ressorts moléculaires, cette limite d'élas-
« ticité peut être reculée jusque dans le voisinage de la rupture, sans que pour
« cela le coefficient d'élasticité ait varié d'une manière notable.

« On observe toutefois un amoindrissement du coefficient primitif qui peut
« aller jusqu'au dixième de la première valeur.

« Le fer et l'acier de ces rails, dans leur état industriel, ont à peu près le même
« coefficient d'élasticité mesuré par $E = 21 \times 10^9$. »

On voit donc combien il sera nécessaire, dans les essais des matériaux, de laisser les métaux toujours sous l'influence des charges croissantes, et d'abandonner l'ancienne pratique, qui consiste à augmenter la charge par degrés en la supprimant à chaque observation d'allongement, pour s'assurer que le métal revient bien à sa position première. Ce procédé est donc absolument faux ; il est bien préférable d'opérer la traction progressivement et sans déchargement, et de déterminer la limite d'élasticité, lorsqu'on n'agit pas avec les machines d'essai du colonel Maillart ou de Thomasset, par les courbes de résistance dont nous parlerons ultérieurement.

---

## BUT DES ESSAIS A LA TRACTION

On opère les essais à la traction pour étudier.

1° La résistance plus ou moins grande du métal aux efforts qui tendent à le rompre après déformation. On mesure cette ténacité du métal en recherchant les charges maxima qu'il peut supporter jusqu'à la rupture ;

2° La ductilité du métal, ou sa plus ou moins grande facilité à se déformer sous une charge donnée, se mesure en pratique :

A. — Par l'allongement total que prend sous la charge maxima une longueur fixe tracée sur l'éprouvette d'essai.

B. — Par la mesure de la striction, c'est-à-dire par la diminution de section qui se produit, en général, en un point spécial de l'éprouvette nommé section de rupture.

Lorsque l'on soumet une éprouvette d'un métal quelconque aux efforts de traction, on observe, dans les phénomènes qui précèdent la rupture, trois périodes parfaitement distinctes :

1° *Période élastique.* — On a admis pendant bien longtemps que durant cette période, le métal prenait des allongements proportionnels à la charge qu'il supportait et que, de plus, ces allongements disparaissaient lorsque la charge était enlevée, c'est-à-dire que la barre ne subissait, dans ce cas, aucun allongement permanent.

Cette définition ancienne de l'élasticité n'est pas exacte, car, au fur et à mesure que les moyens d'observations se sont perfectionnés, on a pu observer que, même des charges très inférieures à celle de la limite d'élasticité, donnaient lieu à des allongements permanents.

Cette question est si importante que je la traiterai d'une façon spéciale.

Il existe, en effet, bien des applications en mécanique où la connaissance des caractéristiques de l'élasticité du métal est aussi importante que celle de la période de rupture.

On appelle *charge à la limite d'élasticité*, la tension par millimètre carré de section qui produit, dans l'hypothèse que nous avons faite ci-dessus, le premier allongement permanent, et *allongement d'élasticité*, l'allongement total que le métal a pris sous cette charge.

2° *Période de déformation*, qui va de la limite d'élasticité pour aboutir au maximum de résistance.

Pendant cette période, l'éprouvette s'allonge régulièrement, diminuant de section uniformément, puis, à un certain moment, en général, en un point de l'éprouvette, se produira une déformation importante de la section, appelée *striction* ; la charge observée, au moment où commence la striction, est appelée *charge du maximum de résistance.*

3° *Période de rupture*, qui s'étend depuis le moment du maximum de résistance jusqu'à l'instant de la rupture de l'éprouvette.

Pendant toute cette période, la charge décroîtra.

Pour se rendre compte de tous ces phénomènes, il ne faut pas, bien entendu, que l'expérience soit faite sur une simple machine à levier. Il est nécessaire, que, si sur une des extrémités de l'éprouvette on produit la puissance, l'autre extrémité permette, par un manomètre, ou autre appareil, de se rendre compte à chaque instant de la résistance propre de l'éprouvette, résistance qui fait équilibre à la puissance ; les machines à essayer les métaux de M. Thomasset et du colonel Maillard sont construites d'après ces principes.

Si donc nous récapitulons les résultats d'un essai ainsi régulièrement conduit, nous voyons que nous obtiendrons les renseignements, sur :

1° Charge à la limite d'élasticité et allongement correspondant ;

2° Charge du maximum de résistance. Allongement correspondant ;

3° Charge minima à la rupture. Allongement correspondant ;

4° Allongement total après rupture :

5° Mesure de la striction, par la mesure de la section de l'éprouvette à la partie rompue.

Dans la pratique, pour caractériser le métal, on se sert en général de ces renseignements de la façon suivante :

La ténacité du métal est mesurée d'après la charge au maximum de résistance, en l'exprimant en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive de l'éprouvette, et aussi de la section de l'éprouvette après rupture ; on dit que l'on a la charge de rupture par millimètre carré de section primitive ou de section de rupture.

Ces renseignements, d'un usage si courant, sont absolument sans valeur précise, car il n'est pas vrai, comme nous le verrons, que les charges de maximum de résistance et de rupture soient égales, la seconde étant, dans bien des cas, de beaucoup inférieure à la première, et de plus, dans les métaux très ductiles la section des barres d'essai sous la charge du maximum de résistance est bien moindre que la section primitive.

Pour la ductilité, on mesure l'allongement total après rupture et on l'exprime en pour cent de la longueur primitive entre les repères tracés sur l'éprouvette.

Pour la striction, certains ingénieurs la mesurent en prenant le rapport $\frac{S'}{S}$ (1), S étant la section primitive de l'éprouvette, S' la section de l'éprouvette après rupture ; d'autres personnes, au contraire, appellent la striction, *contraction*, et la mesurent par la formule $\frac{S - S'}{S}$ (2).

L'anomalie dans ces deux manières d'opérer est visible, puisque plus la striction sera faible, plus le rapport $\frac{S'}{S}$ sera grand et $\frac{S-S'}{S}$ petit.

Il est vrai que l'on peut facilement passer d'une formule à l'autre, puisque $\frac{S-S'}{S}$ n'est autre que le complément de $\frac{S'}{S}$ par rapport à 1, mais il serait encore plus simple de s'entendre et de choisir une manière unique d'exprimer un même phénomène.

---

# RÉSISTANCE DES MÉTAUX

Nous allons examiner certains points intéressants concernant les essais des métaux, pour mesurer leur ténacité ou leur résistance, et que nous venons d'indiquer d'une façon générale.

# Différence entre la charge maxima de résistance et la charge de rupture.

Expériences de M. Adamson. — Au Congrès tenu à Paris en 1878, par l'Institut du Fer et de l'Acier, M. Adamson a rendu compte de nombreux essais à la traction.

Il fait remarquer d'abord qu'il faut distinguer entre la *charge de tension maxima* et la *charge de rupture.*

Pour les métaux doux et ductiles, la charge de rupture n'est souvent que les $\frac{3}{4}$ de la charge de tension maxima, tandis que l'allongement sous la charge de tension maxima n'est que les $\frac{5}{8}$ de l'allongement final de rupture.

Pour les aciers durs et les tôles de fer ordinaire, au contraire, la différence entre les deux charges est peu importante, ces métaux cassent sous la charge de tension maxima avec très peu de réduction dans la section.

Voici un exemple cité par M. Adamson :

| Numéros des essais. | Longueur de l'éprouvette. | Section. | Tension maxima. | Allongement correspondant. | Charge amenant la rupture. | Allongement à la rupture. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | m/m | m/m2 | k | | k | | |
| 23 | 254 | 645 | 46.9 | 15.0 | 40.6 | 26.0 | Acier doux Bessemer |
| 24 | 254 | 612 | 43.5 | 19.0 | 36.4 | 24.0 | » |
| 25 | 254 | 592 | 43.5 | 16.0 | 38.9 | 21.0 | » |
| 26 | 254 | 600 | 43.6 | 17.5 | 38.7 | 24.0 | » |
| 28 | 254 | 645 | 43.0 | 18.5 | 39.8 | 25.0 | » |
| Moyennes. . . . | | | 44.1 | 17.2 | 38.8 | 24.0 | |
| 41 | 127 | 240 | 53.7 | 28.5 | 42.4 | 34.0 | Acier doux pour rivets |
| 42 | 127 | 240 | 54.9 | 28.5 | 37.7 | 33.5 | » |
| 48 | 254 | 645 | 43.3 | 19.0 | 36.7 | 30.0 | Acier doux. |
| 49 | 254 | 645 | 41.6 | 16.5 | 35.3 | 27.0 | » |

Si nous examinons les moyennes de la 1re série d'essais faits avec le même métal, on voit que :

La charge de rupture est 12 % plus faible que la charge de tension maximum.

L'allongement à la rupture est 29 % plus grand que l'allongement sous la charge de tension maxima.

M. Adamson a essayé, à ce point de vue, différents métaux.

Avec de l'acier dur, rompant sous une charge de $84^k,1$ par millimètre carré de section primitive, la charge de tension maxima et la charge de rupture sont égales ainsi que les allongements correspondants ; les mêmes observations ont lieu pour les fers ordinaires. Mais les fers en barres extra doux de Suède et les fers pour rivets se comportent sensiblement comme les aciers doux, c'est-à-dire que la charge de rupture est inférieure à la charge de tension maxima, et l'allongement à la rupture est bien supérieur à l'allongement sous la tension maxima :

| Numéros des essais. | Longueur. | Section. | Tension maxima. | Allongement correspondant. | Charge amenant la rupture. | Allongement à la rupture. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 43 | 127 | 388 | 38.4 | 16.5 | 35.4 | 28.5 | Fer spécial à rivets. |
| 44 | 127 | 388 | 39.5 | 18.5 | 34.8 | 33.0 | |
| Moyennes. . . . | | | 38.9 | 17.5 | 35.1 | 30.7 | |

Dans cet essai, la charge de rupture est inférieure de 10 °/₀ à la charge de tension maxima, et l'allongement correspondant à la rupture est, au contraire, supérieur de 75 °/₀ à celui correspondant à la tension maxima.

Essais de M. de Montgolfier. — M. Considère, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dans son magnifique travail sur l'emploi du fer et de l'acier, cite deux expériences dues à M. de Montgolfier, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées :

| | Charge du maximum de résistance. | Charge à la rupture. | Δ 0/0. |
|---|---|---|---|
| Essai d'un barreau en fer fin très doux. | 6 100k | 5 300 k | 13.11 |
| Essai d'un barreau en acier très doux.. | 8 100 | 6 200 | 23.45 |

Dans cette expérience, la charge à la rupture est inférieure de 23 °/₀ à la charge du maximum de résistance.

ESSAIS DU GÉNIE MARITIME. — Le Génie maritime a reconnu l'erreur que l'on commet, quand on confond la charge maxima de résistance et la charge de rupture, et M. l'Ingénieur Gallon, dans son rapport de mission de 1887, demande que dans les essais faits dans les ports, on enregistre non pas la charge au moment de la rupture, mais bien la charge maxima atteinte par la colonne manométrique de la machine d'essai.

« A dater de cette charge maxima, dit cet ingénieur, il se fait un très grand « allongement dans la barrette, la striction se prononce, et la pression accusée « par la colonne manométrique, va toujours en baissant, pour être assez faible « au moment précis de la rupture et tomber à zéro à l'instant qui suit. »

## Erreur commise en rapportant la charge maxima de résistance en kilogrammes carrés par millimètre carré de la section primitive.

Pendant la première période élastique, et la deuxième période jusqu'au moment où la charge atteint le maximum de résistance, l'éprouvette s'allonge sur toute sa longueur. D'après les expériences de M. Barba, Ingénieur en chef du Creusot, le volume de l'éprouvette peut pratiquement être considéré comme constant ; il faut que la section diminue proportionnellement à l'allongement, de telle façon qu'on ait toujours, en appelant :

S la section primitive du barreau ;

$l$ la longueur entre repères;

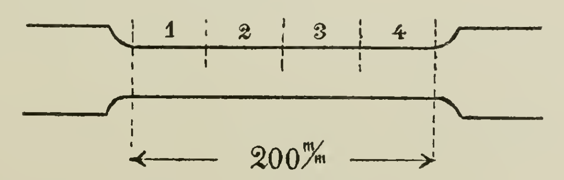
S' la section nouvelle considérée ;

$l'$ la longeur entre repères correspondante ;

$$S l = S' l'$$

Examinons si l'expérience vient confirmer ce raisonnement.

EXPÉRIENCES DE M. E. CORNUT. — Les éprouvettes d'acier doux avaient 200 millimètres de longueur utile entre les repères, et on a divisé cette longueur en 4 parties égales de 50 millimètres chacune.




L'éprouvette cassait, ou dans les parties voisines des têtes 1 et 4, ou dans les parties médianes 2 et 3 ; dans le premier cas, nous avons pris pour calculer les

sections au maximum de résistance, les parties 3 ou 2, et dans le second cas, les parties médianes non cassées, 3 ou 2. De manière que la section considérée soit le moins possible influencée par la rupture ou par les têtes.

D'après ce que nous avons appelé plus haut, en lisant sur l'éprouvette la longueur $l'$ après la rupture, nous déterminions la nouvelle section de l'éprouvette par la formule.

$$S' = \frac{Sl}{l'_1}$$

Nous avons calculé alors les différences % entre S et S' $\frac{S - S'}{S}$

Métal recuit dans le sens du laminage.

Moyenne de cinq essais.
Cassure dans (1 ou 4). . . . . . . . . . . 13,6 %

Métal recuit. — En travers du sens du laminage.

Moyenne de cinq essais.
Cassures dans (1 ou 4) . . . . . . . . . . 12,2 %

Moyenne de deux essais.
Cassures dans (2 ou 3) . . . . . . . . . . 16,0 %

La différence des sections avant et après la traction sera très variable, suivant la nature du métal ; en effet, pour les métaux durs et secs, acier ou fer dans lesquels les allongements avant rupture sont très peu importants, la différence entre la section primitive et la section sous la charge du maximum de résistance sera faible, et, par suite, l'erreur commise peu importante.

Pour les métaux très malléables, les fers de première qualité, les aciers soudables très doux, les allongements, avant que la striction ne se produise, sont très importants, et la différence de la section primitive et de la section sous la charge maxima est considérable, et l'erreur dans les résultats de même importance.

Expérience de M. Considère. — Si nous reprenons les deux expériences déjà citées et que nous examinions les sections ;

| | Section primitive. | Section avant le commencement de la striction. | Δ %. |
|---|---|---|---|
| | m/m | m/m | |
| Barreau en fer fin très doux. . . . | 201 | 176 | 12.43 |
| Barreau en acier très doux. . . . . | 201 | 180 | 10.44 |

La section, au moment de la striction, est donc de 12,43 % plus faible que la section primitive.

*Conclusion.* — De ces différents chiffres, il résulte donc que la manière ordinaire d'exprimer les résultats des essais de traction en kilogrammes par millimètres carrés de section primitive, fait commettre deux erreurs en sens contraire.

En prenant la charge maxima de résistance pour la charge de rupture, l'erreur est en trop de 13 % et 23 % et peut-être plus. En rapportant cette charge à la section primitive, on commet une erreur en moins qui peut varier de 10 % à 16 % et plus.

L'incertitude même des variations, dont nous venons de parler, suivant la nature du métal et suivant son état, montre suffisamment que le renseignement que nous trouvons dans tous les tableaux d'essais « *Charge de rupture en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive* » n'a aucune valeur.

Le renseignement donné sous le titre «*Charge de rupture en kilogrammes, par millimètre carré de la section de rupture*» est tout aussi erroné, puisque ce n'est pas la charge de rupture dont on fait usage pour exprimer ce résultat, mais bien la *Charge de maximum de résistance* dont nous avons tout à l'heure indiqué les différences considérables.

M. Kirkaldy, en présence des erreurs que nous venons de signaler, a proposé d'évaluer la résistance des métaux en prenant le rapport de la charge de rupture à la section de rupture.

Voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Un très bon fer de Suède, au bois, martelé, à cassure très douce, fine et uni-
« forme, ne porte que 34 kilogrammes par millimètre carré de section primitive ;
« un fer puddlé, laminé, à gros grains irréguliers, supporte 45 kilogrammes. Mais,
« dans le premier cas, la section est réduite de 50,5 %, dans l'autre, de 28 % ;
« de sorte qu'à la fin, le fer de Suède supportait 85 kilogrammes et le fer commun
« 62 kilogrammes. Donc, la charge absolue de rupture est insuffisante pour classer
« les diverses qualités de fer. Une charge de rupture élevée peut provenir de ce
« que le fer de qualité supérieure, dense, fin et d'une douceur convenable, comme
« elle peut provenir de ce qu'il est très dur et cède très difficilement. Une résis-
« tance faible peut tenir à une texture lache, et aussi à une extrême douceur al-
« liée souvent à une qualité très fine.

« La charge de rupture, rapportée à la section de rupture, serait le meilleur
« cœfficient pour juger de la qualité des fers et des aciers. »

Il nous paraît bien difficile d'accepter, comme le propose M. Kirkaldy, de représenter les qualités d'un métal, ténacité et ductilité, par le seul cœfficient qu'il indique.

Il faudrait aussi rechercher dans quelles limites la section de rupture est influencée par la valeur de la section primitive, autrement dit si le rapport de $\frac{S'}{S}$ est indépendant de la grandeur de S.

La striction, pour un même métal, doit aussi être assez fortement influencée

par le mode d'action de la machine à essayer. Dans les machines à action directe ou à levier, dans lesquelles on fait les opérations assez rapidement, la charge du maximum de résistance que l'on confond avec la charge de rupture, est supportée par la section la plus faible. Mais il ne peut en être de même, comme nous l'avons déjà expliqué, dans les machines Thomasset et Maillard, où la résistance du métal fait constamment équilibre à la charge.

Si donc, nous supposons des éprouvettes de même métal et de mêmes dimensions essayées sur ces différents types de machines, en admettant qu'elles supportent la même charge de maximum de résistance, à partir de cet instant, c'est-à-dire juste au moment où commencera et s'effectuera la striction, elles seront soumises à des charges inégales, et on comprend que la grandeur de la striction puisse en être singulièrement affectée.

En résumé, l'usage qui s'est établi de juger la ténacité des métaux, en prenant la charge de maximum de résistance pour la charge de rupture, et en l'exprimant en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive ou de la section de rupture, ne représente qu'un rapport de chiffres sans aucune valeur réelle.

Les seuls chiffres exacts que puissent donner des essais de traction, tels qu'ils sont fait ordinairement, seraient donc :

Charge maximum de résistance rapportée à la section de l'éprouvette sous cette même charge.

Charge de rupture rapportée à la section de rupture.

Il est toutefois tout naturel qu'on ait rapporté dans la pratique la charge maxima de résistance, c'est-à-dire l'effort maximum qu'une pièce peut supporter à la section primitive, puisque, lorsqu'on veut calculer une pièce, c'est seulement cette section primitive que l'on connaît et non pas la section sous la charge maxima, malheureusement les résultats, tels qu'ils sont donnés par les essais, ne peuvent qu'induire les ingénieurs en erreur.

---

## DUCTILITÉ

*Allongement total après rupture.* — Si on examine les allongements que peut prendre une barrette d'épreuve soumise à la traction de charges croissantes, on remarquera que sous la charge faible, on voit le barreau s'allonger de quantités, qui disparaissent en partie lorsqu'on enlève la charge, c'est ce qu'on appelle les *allongements élastiques*, qui sont sensiblement proportionnels aux

charges, et que nous désignons sous la lettre $A_e$. On appelle *allongement permanent*, $A_p$, l'allongement qui persiste malgré l'enlèvement de la charge.

Ces allongements permanents sont très peu importants pour des faibles charges, mais ils vont bientôt en augmentant jusqu'au moment où l'éprouvette est soumise à la charge maxima de résistance.

Pendant toute cette période, nous avons vu que la section de l'éprouvette diminuait presque uniformément et proportionnellement à la charge.

A un certain moment on voit apparaître, en un point de l'éprouvette, une diminution brusque de section et un allongement très rapide se produire jusqu'au moment de la rupture, c'est ce qu'on appelle l'*allongement de striction* $A_s$.

Si donc après la rupture on mesure l'*allongement total* $A_T$, qu'a pris l'éprouvette entre les deux repères, on voit qu'il aura

$$A_T = A_e + A_p + A_s$$

Or, $A_e$ et $A_p$, pour une même charge, sont proportionnels à la longueur utile de l'éprouvette, c'est-à-dire, à la distance des repères, tandis que $A_s$ ne dépend que de la nature du métal. $A_T$ est donc la somme d'éléments de nature absolument différente, ayant entre eux des rapports variables, et, par suite, ne peut donner qu'un résultat complexe sans spécification précise.

Dans la pratique on exprime cet allongement total en % de la longueur primitive de l'éprouvette.

Il est facile alors de comprendre que, dans ces conditions, la longueur de l'éprouvette jouera un rôle considérable, rôle que nous étudierons ultérieurement.

---

## DE LA STRICTION

Nous avons déjà expliqué que lorsqu'on soumet une éprouvette à la traction et qu'on a atteint la charge de tension maxima, on voit se dessiner en général, en un point du barreau, un étranglement très accentué, et même en diminuant les charges, on voit un allongement très important se produire ; la section diminue considérablement et enfin le barreau se rompt en cet endroit. — Ce phénomène s'appelle *striction*.

Ce fait est connu depuis très longtemps, et M. Barbé, colonel d'artillerie, directeur des forges de la Marine, indiquait déjà en 1834, dans ses essais sur les

fers destinés à la fabrication des câbles de vaisseaux, la striction, ou rapport de la section de rupture à la section primitive, il notait même la chaleur développée au point de rupture.

Mais M. David Kirkaldy, qui a opéré de très nombreux essais à la traction, est le premier, je crois, qui ait proposé de mesurer la ductilité des métaux, non plus par l'allongement total après la rupture, mais par la striction.

*Cause de la striction.* — En général on admet que la striction se produit au moment où le métal est soumis à la charge de tension maxima, et que, par suite de la non homogénéité du métal, une des sections, se trouvant soumise à un effort plus grand que les voisines, tend à se briser ; c'est ce qui a lieu pour les métaux secs et durs sans ductilité ; pour les métaux présentant au contraire une grande malléabilité, la résistance des molécules à la séparation des unes avec les autres, permet à la matière de s'allonger plus ou moins avant la rupture, et, comme la densité de la matière ne change pas beaucoup avant ou après rupture, il faut bien que le diamètre diminue au fur et à mesure que l'allongement se produit.

La charge *allant en augmentant* et le diamètre en diminuant, il est bien évident que la tension dans la section va toujours en croissant, et que la rupture doit s'en suivre.

On doit toutefois faire une remarque importante ; on admet en général, avec Poncelet, que les molécules des corps sont soumises à une force attractive et répulsive dont les intensités sont des fonctions différentes de la distance des molécules.

Lorsque l'attraction l'emporte sur la répulsion, la distance des molécules diminue et inversement ; mais lorsque le corps devient liquide, la force attractive est nulle ; on comprend donc que cette force attractive, d'abord croissante, passera par un maximum puis décroîtra jusqu'à zéro.

Des circonstances analogues se présentent lorsqu'on rompt un barreau à la traction ; en effet, lorsqu'on est arrivé à soumettre le barreau à la charge de maximum de résistance, on est aussi au maximum d'allongement proportionnel ; à partir de ce moment la résistance de la section, et, par conséquent la tension dans le barreau va en diminuant, c'est ce qui fait que, dans les aciers très doux, la charge de rupture peut n'être que la moitié de la charge maxima de résistance, l'allongement de striction continue toujours à se produire sous ces charges décroissantes.

Mais dans les autres sections du barreau, où la charge de maximum de résistance n'a pas été atteinte et, par suite, l'allongement maximum n'est pas dépassé, les molécules subissent des tensions de moins en moins grandes, les forces attractives augmentent et les distances diminuent, les sections du barreau augmenteront donc.

L'allongement final de striction dépend donc seulement de la ductilité de l'acier et est indépendant de sa résistance à la rupture.

Certains faits d'expériences semblent confirmer la théorie de Poncelet ; nous avons constaté, en effet, plusieurs fois dans des essais de traction, après la rupture, des renflements en certains points qui n'ont pu se produire que par suite du refoulement de la matière.

Il faut remarquer, dans ces phénomènes de la striction, que la section qui est réduite au plus petit diamètre, parce que la rupture s'y produit, est la seule pour laquelle les phénomènes d'allongement complet se produisent.

On peut donc espérer, par l'étude des allongements et des raccourcissements permanents de cette partie des tiges soumises soit à des efforts de traction, soit à des efforts de compression, trouver les éléments d'une théorie rationnelle de la déformation permanente, qui puisse s'appliquer aux phénomènes de la flexion et des chocs.

Opinion de M. Considère. — M. Considère s'est demandé pourquoi une tige cylindrique, qui supporte en tous les points de ses différentes sections le même effort, ne continue pas à s'allonger régulièrement à partir de la charge de tension maxima, comme elle le faisait sous les charges précédentes.

Pourquoi, au contraire, la plus grande partie de l'éprouvette ne subit plus d'allongement, mais, en un point spécial, qu'une diminution très considérable de diamètre se produit et augmente régulièrement jusqu'à la rupture ?

M. Considère fait remarquer que, pendant toute la première période de tension, l'effort total que supporte l'éprouvette va toujours en augmentant, ainsi que l'allongement, mais, par suite, la section diminue ; ce qui revient à dire que la tension augmente plus rapidement que ne diminue la section.

La matière est donc en équilibre stable.

Si, en effet, par suite d'un manque d'homogénéité, une des sections tend à s'allonger plus que les autres, elle sera capable d'un effort total plus considérable, et par conséquent, elle cessera de diminuer jusqu'au moment où les autres sections de l'éprouvette, ayant supporté un allongement égal, seront toutes capables de subir le même effort total.

Dans toute cette période, il ne peut y avoir de striction.

Mais, à un certain moment, l'éprouvette est soumise à ce que nous avons appelé la *charge de tension maxima*. — L'expérience prouve que l'effort total est alors maximum, et qu'il va toujours en décroissant jusqu'à la rupture. La matière s'allongeant de plus en plus on voit que, dans cette seconde période, la tension croît moins vite que la section ne diminue.

La matière est donc en équilibre instable.

Si une section diminue plus qu'une autre, elle ne pourra plus opposer qu'une résistance inférieure à ses voisines.

L'équilibre sera ainsi rompu, la section se contractera de plus en plus ; l'effort

total diminuant, il ne pourra plus amener aucun changement de forme dans le restant du barreau qui restera sensiblement dans l'état où il se trouvait au moment de la *charge de tension maxima.*

« Si cette explication est exacte, la striction doit commencer, disait M. Con-
« sidère, non pas à un moment quelconque, variable au hasard avec l'homogé-
« néité du métal, comme on l'admet généralement, mais au moment où l'effort
« total atteint sa valeur maxima. »

Examinons maintenant si l'on doit conserver dans les essais l'étude de la striction.

Nous avons déjà exposé que beaucoup d'auteurs admettent que la densité du métal ne varie pas dans les essais à la traction, et que le volume de l'éprouvette reste constant ; il en résulte que les allongements doivent augmenter proportionnellement à la diminution de section ; l'allongement à la rupture variera donc dans le même sens que la striction.

Nous croyons toutefois devoir rappeler, comme nous l'avons déjà fait remarquer, que l'*allongement total à la rupture* est un composé complexe de l'allongement élastique, de l'allongement proportionnel et de l'allongement de striction, tandis que la striction est une mesure simple et unique qui n'offre rien de complexe ni de confus dans sa définition.

Il est nécessaire de rechercher quels sont les éléments, dans la construction des éprouvettes, qui peuvent faire varier les résultats donnés par la striction.

## Influence de la variation simultanée des dimensions transversales et de la longueur

M. Barba a entrepris toute une série d'expériences sur ce sujet, avec des éprouvettes cylindriques, et, comme dans les tableaux qui les résument, il a noté les strictions, nous pouvons en tirer des résultats utiles.

Le rapport du diamètre à la longueur utile de l'éprouvette était de 7.24.

| Diamètre des éprouvettes. | Longueur entre repères. | ACIER DOUX | | ACIER DUR | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Striction. | Allong. total de rupture pour 100. | Striction. | Allong. total de rupture pour 100. |
| m/m | m/m | | % | | |
| 6.90 | 50 | 0.307 | 32.8 | 0.635 | 20.0 |
| 10.35 | 75 | 0.310 | 32.2 | 0.620 | 18.8 |
| 13.80 | 100 | 0.303 | 33.0 | 0.626 | 18.2 |
| 17.25 | 125 | 0.314 | 33.5 | 0.616 | 18.1 |
| 20.70 | 150 | 0.308 | 33.6 | 0.682 | 18.0 |
| 24.15 | 175 | 0.303 | 33.2 | 0.642 | 18.1 |
| 27.60 | 200 | 0.322 | 33.0 | 0.656 | 19.5 |
| 31.05 | 225 | 0.305 | 34.0 | » | » |
| | Moyennes. | 0.308 | 33.3 | 0.639 | 18.6 |

On voit d'après ces chiffres que, pour l'acier doux, la différence entre la valeur maxima et minima est à peine de 3 % pour la striction et pour l'allongement total pour 100 à la rupture ; pour l'acier dur, cette différence est de 9,6 % pour la striction et 10 °/₀ pour l'allongement total à la rupture.

Si donc on admet la loi de similitude de M. Barba, il faut reconnaître qu'au point de vue de la striction elle se réalise aussi.

## Influence de la longueur de l'éprouvette

Nous ne connaissons pas d'expériences spéciales sur cette question, mais, d'après ce que nous avons dit sur les causes de la striction, on comprend facilement que si la longueur de l'éprouvette est suffisante pour que l'écoulement de la matière puisse se faire librement, et il faut pour cela que la striction se trouve dans la partie médiane de l'éprouvette et ne soit pas influencée par les têtes, cette longueur sera seule nécessaire, et, à partir de cette limite, la striction sera indépendante de la longueur de l'éprouvette, ce qui sera un avantage considérable pour *l'allongement total à la rupture.*

*Longueur de l'allongement de striction.* — Il est évident que la longueur nécessaire de l'éprouvette dépend de l'allongement du métal, dans la période de la striction, que nous appellerons longueur de la striction (p. 95).

Expériences de M. Le Basteur. — M. Le Basteur a essayé un grand nombre de barres d'acier, destinées à fabriquer des entretoises ; ces tiges cylindriques qui avaient $1^{m},15$ de long, ont été divisées en parties de 10 centimètres, et on a noté après rupture les allongements de chacune de ces parties.

La moyenne de ces allongements, sans compter la partie où s'est produite la striction, donne, pour l'exemple cité par M. Le Basteur, 12 mil. 5, c'est-à-dire que la longueur primitive de 100 millimètres est devenue 112 mil. 5. Si nous admettons que cet allongement est celui qui existait au moment où la striction a commencé, comme l'intervalle de 100 millimètres où la striction a eu lieu est devenu ensuite 124 millimètres, il en résulte que la longueur de la striction pour ce métal serait de 12 millimètres en nombre rond.

Expériences de M. Considère. — Des expériences de M. Considère sur des éprouvettes de 200 millimètres, nous tirons les renseignements ci-contre :

| | ALLONGEMENTS ENTRE REPÈRES | | Longueur de la striction |
|---|---|---|---|
| | Avant striction | Après striction | |
| | m/m | m/m | m/m |
| Barreaux en fer fin très doux......... | 33.200 | 66.» | 32.800 |
| Barreaux en acier très doux.... ..... | 25.500 | 52.5 | 27.000 |

La longueur de la striction dépend donc beaucoup de la nature du métal, elle sera minima pour les métaux durs et maxima pour les métaux extra-doux.

Jusqu'à ce que des expériences directes aient démontré la longueur minima que l'on peut donner aux barrettes d'épreuve, il semble que les éprouvettes de 100 et surtout de 200 millimètres les plus employées, sont plus que suffisantes pour, qu'à partir de ces dimensions, on puisse admettre que la striction est indépendante de la longueur de l'éprouvette.

## Influence de la section de l'éprouvette

Si on admet les deux propositions précédentes, que la striction dans certaines limites est indépendante de la longueur et ne varie pas quand le rapport de la section à la longueur est constant, il faut en déduire que la striction ne doit pas varier avec la section de l'éprouvette dans les mêmes limites, qui sont très suffisantes pour la pratique.

Voici à ce sujet quelques expériences :

Expériences de M. Barba. — Cet ingénieur a fait des expériences sur des éprouvettes de même métal, ayant même longueur, mais des diamètres très différents.

| Diamètre des boulons. | Section primitive. | Charge de rupture par m/m². | Striction. | Allongement 0/0 sur 200. |
|---|---|---|---|---|
| m/m | | k | | |
| 50 | | 55 | 0.535 | 37.7 |
| 80 | » | 55 | 0.537 | 41.2 |

Cette expérience paraît donc donner tout à fait raison à notre proposition : Dans d'assez larges limites, plus que suffisantes pour la pratique, la striction est indépendante de la section.

C'est du reste aussi l'opinion de M. Considère.

## Influence de la forme de la section

M. Barba a fait des expériences que nous avons déjà citées, qui nous permettent de résoudre cette question.

Avec le même métal, chaque barreau ayant subi le même corroyage, il a fabriqué des éprouvettes ayant la même section, mais de forme ronde, carrée ou rectangulaire. Voici le résultat de ses essais :

| DÉSIGNATION DES FORMES DES SECTIONS. | Charge de rupture. | Striction. | Δ 0/0. | Allongem. total sur 200m/m | Δ 0/0. |
|---|---|---|---|---|---|
| | k | | | | |
| Ronde . . . . . . . . . . | 41.5 | 0.417 | 4.1 | 32.7 | 9.2 |
| Carrée . . . . . . . . . . | 41.7 | 0.427 | 1.8 | 33.7 | 6.3 |
| Rectangle . . . . . . . . | 39.6 | 0.435 | » | 36.0 | » |

On voit, en résumé, que la striction semble beaucoup moins sensible à la forme de la section que l'allongement.

---

# EXAMEN DES DIFFÉRENTES CAUSES QUI PEUVENT FAIRE VARIER LES RÉSULTATS DES ESSAIS A LA TRACTION.

De nombreux expérimentateurs ont étudié cette question si complexe.

## Influence des têtes de l'éprouvette

M. Barba, comme nous l'avons déjà exposé, admet, d'après les expériences de M. Tresca, que les métaux ne sont pas pratiquement compressibles, et, par suite, que le volume de l'éprouvette reste constant. Il démontre cette perma-

nence du volume par des expériences directes faites à l'aéromètre de Nicholson.

En partant de cette hypothèse, il prouve, par des considérations théoriques que :

« Dans une barrette soumise à un effort de traction, tout allongement se tra-
« duisant par une réduction de section correspondante :

« 1° Le barreau d'épreuve prend, par suite des têtes, un profil courbe au rec-
« tangle, qu'il prendrait après déformation si les têtes n'existaient pas;

« 2° La fibre centrale est la moins chargée, et conserve la plus grande épais-
« seur dans la partie correspondante au profil extérieur convexe ;

« 3° Dans la région de raccordement entre les deux parties convexes, ou de
« tangence du rectangle précité, c'est-à-dire pendant la deuxième période de dé-
« formation, (période de la striction), la fibre centrale est de beaucoup la plus
« chargée et se rompt la première. »

## Comparaison après rupture des diverses sections d'une même éprouvette

M. Marché a entrepris à ce sujet un essai d'un certain intérêt :

Il a soumis à un effort de traction, augmentant jusqu'à la rupture, une tige cylindrique d'acier ayant un diamètre de 15,2 millimètres, et une longueur utile entre repères de 96 millimètres, divisée, avant l'essai, par des coups de pointeau en quatre parties de 24 millimètres de longueur.

Après la rupture, qui eut lieu sous une charge de 50 kilog. 4 par millimètre carré de section primitive, la longueur totale de l'éprouvette était égale à 120 mil. 5; l'allongement proportionnel à la rupture était donc, d'après les errements habituels, de 25,5 %.

Les subdivisions de la tige présentaient les modifications ci-dessous indiquées :

| | Longueur primitive. | Longueur après rupture. | Δ | Prop. °/₀. |
|---|---|---|---|---|
| | m/m | m/m | m/m | |
| 1re Division. . . . . | 24 | 27 | 3 | 12.5 |
| 2e — . . . . . . | 24 | 28 | 4 | 16.7 |
| 3e — . . . . . . | 24 | 36 | 12 | 50 » |
| 4e — . . . . . . | 24 | 29.5 | 5.5 | 23 » |

Le diamètre de la tige n'est plus aux extrémités que de 14 mil. 7 et de 10 mil. 5 dans la section de rupture; le diamètre décroît d'une manière continue depuis les têtes jusqu'à la section de rupture.

Admettant alors la constance du volume, M. Marché recherche les allongements supportés par les différentes sections droites du cylindre primitif, pendant qu'il est soumis aux efforts de traction depuis les têtes jusqu'à la section de rupture, et il prouve que l'allongement de 25,5 °/₀ n'est que la moyenne d'une série continue d'allongements qui varie de 7 °/₀ à 110 °/₀.

M. Marché a dressé les courbes représentant les allongements aux divers points de la tige, et celle des diamètres de cette tige en ces mêmes points.

Il remarque, sur chacun des deux tronçons de l'éprouvette, trois zones bien distinctes, en ce qui concerne les diamètres :

1° *Zone d'attache.* — Les têtes, s'opposant par leur masse aux allongements et, par suite, à la réduction des sections, ces différences sont faibles.

Dans l'expérience précitée, cette zone s'étendait sur environ $\frac{1}{7}$ de la longueur de la tige, qui avait pris à peu près la forme d'un tronc de cône à périmètre légèrement curviligne, dont la grande base avait un diamètre de 14 mil. 7 et la plus petite base 14 millimètres.

2° *Zone moyenne.* — Dans cette zone, toutes les sections décrites ont subi à peu près des allongements identiques, et, par suite, la forme est restée cylindrique. L'étendue de cette zone dépend de la longueur de la tige.

3° *Zone de striction.* — Dans cette partie, les allongements, et, par suite, les variations de diamètre sont au contraire considérables, et varient, dans le cas dont il s'agit, de 21 à 110 °/₀. Cette zone est fonction de la qualité de l'acier et des dimensions transversales de l'éprouvette.

Il est regrettable que, dans ces expériences, la longueur primitive soit aussi faible, car la zone moyenne, qui a tant d'intérêt pour l'étude des charges de résistance maxima, est difficile à bien observer.

Continuant ses recherches, M. Marché en a tiré des conclusions qu'il est bon de noter.

L'étendue de la 1re et de la 3e zone :

1° Reste constante pour le même acier et les mêmes diamètres d'éprouvettes; elle varie peu avec la longueur de l'éprouvette ;

2° Est proportionnelle aux diamètres des tiges ;

3° La longeur de la 1re zone, zone d'attache, croît avec la douceur de l'acier;

4° La longueur de la 3e zone, zone d'étranglement et de rupture, est au contraire d'autant plus courte que l'acier est plus doux.

Expériences de M. Barba. — M. Barba a opéré des expériences analogues sur une éprouvette de section rectangulaire, qu'il avait eu soin de quadriller en petits carrés de 5 millimètres de côté.

La longueur utile de l'éprouvette était de 105 millimètres; après rupture, la longueur était devenue de 145 mil. 6.

M. Barba a étudié les variations du rapport $\frac{l}{e}$, de la longueur à l'épaisseur. Il a conclu de ces observations :

1° Le rapport primitif entre la largeur et l'épaisseur est resté le même dans la région voisine du milieu, mais en dehors de la striction : les sections successives dans cette région restent donc semblables à elles-mêmes et à leur forme initiale;

2° Dans la partie de la striction, il n'est plus rigoureusement le même, mais peut être considéré comme invariable, malgré cela, eu égard aux difficultés et erreurs de mesurage qu'on ne peut éviter dans une partie aussi déformée;

3° Dans le voisinage des têtes, ce même rapport n'existe plus.

## Influence de la variation simultanée des sections transversales et de la longueur

Loi de similitude de M. Barba. — M. Barba a fait faire pour des aciers durs et doux tout une série d'éprouvettes, dans lesquelles le rapport de la longueur au diamètre était constant et égal à 7,24.

*Aciers doux. — 8 Essais*

| | Résistance | | | Allongement | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | k. | Δ %. | | %. | |
| Limite d'élasticité | Max. | 24.2 | 1.65 | | » | Δ % |
| | Min. | 23.8 | | | | |
| A la rupture | Max. | 42.2 | 5.21 | Max. | 34 » | 3.52 |
| | Min. | 40 » | | Min. | 32.8 | |

*Acier dur, — 7 Essais*

| | | Résistance | | | Allongement | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | k. | Δ % | | % | |
| Limite d'élasticité. . . | Max.<br>Min. | 40.6<br>32.7 | 19.70 | | » | Δ % |
| A la rupture . . . . | Max.<br>Min. | 64.9<br>62 » | 4.46 | Max.<br>Min. | 20 »<br>18 » | 10 » |

M. Barba déduit de ces essais la loi de similitude suivante :

« Des éprouvettes d'essais de même matière, et semblables dans leurs dimen-
« sions, se comportent de même dans les essais à la traction, au point de vue
« des charges, à la limite d'élasticité et à la rupture de l'allongement pour
« 100. »

Différents ingénieurs admettent comme exacte cette loi de similitude, et la Compagnie de l'Est, par exemple, s'en est servie pour établir ses cahiers des charges.

MM. Le Basteur et G. Marié ont entrepris des essais analogues sur cette question, et sont arrivés à des résultats comparables à ceux de M. Barba.

## Influence de la section transversale des barreaux d'épreuve.

Expériences de la Staatsbahn. — La Staatsbahn a publié, pour l'Exposition universelle de 1878, un travail très remarquable sur les essais de résistance des fontes, fers et aciers, de son usine de Reschitza.

Les ingénieurs de cette Compagnie ont essayé des éprouvettes de 36 et 28 millimètres de diamètre, découpées aux outils dans des blocs de métal, et, pour chacune de ces deux sortes d'éprouvettes, 6 en acier Martin et 5 en acier Bessemer.

Les longueurs utiles d'éprouvettes étaient variables : $4^{m},600$ et $0^{m},400$, mais on a prélevé les allongements pour 100 sur 250 millimètres de longueur comprenant la striction.

Des chiffres relevés dans ces essais, il résulte :

1° Que la charge de rupture par millimètre carré de section augmente quand la section transversale diminue, et réciproquement ;

2° Que les allongements pour 100 augmentent quand la section tranversale diminue, et réciproquement.

Expériences de M. Kirkaldy. — M. Kirkaldy a publié, en 1866, des essais des plus intéressants, desquels nous extrayons l'expérience suivante :

Dans une barre de fer de Govare de 38,1 millimètres de diamètre, on a pris 4 morceaux qui, après rechauffage, ont été étirés aux diamètres de 31,75 millimètres, 25,4 millimètres, 19,05 millimètres, 12,7 millimètres.

A la traction, on a obtenu les résultats ci-dessous :

| ÉPROUVETTES. DIAMÈTRE. | RÉSISTANCE TOTALE. | ALLONGEMENT %. |
|---|---|---|
| m/m | | |
| 31.75 | 56.869 | 28.3 |
| 25.40 | 57.369 | 26.7 |
| 19.05 | 58.190 | 25.2 |
| 12.70 | 59.708 | 23.8 |

De ces essais, on pouvait donc conclure :

1° La résistance à la rupture augmente quand le diamètre diminue ;

2° Les allongements pour 100 diminuent avec le diamètre.

Expériences de M. Barba. — M. Barba a entrepris une série d'essais sur cette question. Il a pris un barreau d'acier qu'il a découpé en éprouvettes de longueur constante, mais dont les diamètres étaient successivement 5 millimètres, 10 millimètres, 20 millimètres.

Les résultats ont été :

| DIAMÈTRE des éprouvettes. | LIMITE d'élasticité. | CHARGE de rupture par m/m². | ALLONGEMENT % |
|---|---|---|---|
| ACIER DOUX | | | |
| 20 m/m | 25k.0 | 37k.0 | 37.5 % |
| 10 | 24 8 | 36 9 | 30.2 |
| 5 | 25 2 | 37 6 | 25.0 |
| ACIER DEMI-DUR | | | |
| 20 m/m | 34k.5 | 59k.3 | 25.9 % |
| 10 | 33 5 | 59 4 | 21.» |
| 5 | 33 » | 60 » | 17.» |

*Expériences faites en* 1875 *sur des boulons de blindage en acier.*

| DIAMÈTRE DES BOULONS | Charge de rupture par m/m². | Rapport de la section rompue à la section primitive. | ALLONGEMENT %. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Sur 100. | Sur 200. | Sur 300. |
| 16 m/m | » | » | 25.0 | » | » |
| 50 m/m | 55 k. | 0.535 | 46.5 | 37.7 | 29.6 |
| 80 m/m | 55 k. | 0.537 | 55.0 | 41.2 | 34.6 |

On voit d'après ces essais que :

1° Les charges à la limite d'élasticité et de rupture, et la striction ne sont nullement influencées par la variation de la section transversale des éprouvettes de même longueur ;

2° L'allongement %, au contraire, progresse considérablement avec l'augmentation de la section de l'éprouvette.

La troisième série d'essais montre toutefois que cette influence diminue beaucoup, au fur et à mesure que la longueur de l'éprouvette augmente.

En effet, pour :

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Une éprouvette de | 100 millimètres, | l'écart est de | 8,5 % |
| Id. | 200 | id. | id. | 3,5 |
| Id. | 300 | id. | id. | 5,0 |

« On voit donc, dit M, Barba, que l'allongement % indiqué ou demandé pour « un métal n'a aucune valeur, si, en regard de cet allongement, on ne mentionne « pas le diamètre du barreau d'épreuve, puisqu'on peut doubler, tripler.... l'al- « longement en augmentant démesurément le diamètre de l'éprouvette. »

Ces résultats sont en contradiction avec ceux de M. Kirkaldy.

## Influence de la longueur des éprouvettes.

Expériences de W. Fairbairn. — Le célèbre ingénieur anglais W. Fairbairn a entrepris de nombreuses expériences sur les fers à rivets, il a rendu compte des résultats dans son ouvrage « *Usefeel Information for Engineers*, 2e series ».

Pour étudier l'influence de la longueur des barrettes sur l'allongement %, W. Fairbairn a soumis à la machine d'essai 5 éprouvettes de longueur variable.

| L = Longueur des éprouvettes exprimée en pouces anglais. | Allongement total exprimé en pouces anglais. | l = Allongement par unité de longueur. |
|---|---|---|
| 120 = 3m04 | 26.0 | 0.216 |
| 42 = 1.06 | 9.8 | 0.233 |
| 36 = 0.91 | 8.8 | 0.244 |
| 24 = 0.61 | 6.2 | 0.258 |
| 10 = 0.25 | 4.2 | 0.420 |

M. Fairbairn a résumé ces essais dans la formule suivante :

$$l = 0.180 + \frac{2.5}{L}$$

qui relie la longueur de l'éprouvette à l'allongement par unité de longueur.

Si on suppose L exprimé en mètres et $l$ en % de la longueur primitive, la formule deviendrait :

$$l = 18 + \frac{6.350}{L}$$

Il est bien évident, du reste, que ces deux constantes ne peuvent avoir de valeur que pour les fers à rivets essayés par M. W. Fairbairn ; pour des fers ou des aciers d'une autre nature, elles seraient tout à fait différentes.

Expériences de M. Joessel. — M. Joëssel, ingénieur de la Marine, a publié en 1872, dans le *Mémorial du Génie maritime*, un travail considérable sur des essais faits à Indret, en 1870 et 1871, sur les fontes et les aciers.

Pour se rendre compte de l'influence de la longueur de l'éprouvette sur les coefficients de résistance et d'allongement du métal, il a pris, pour le fer, des barreaux de 20 millimètres de diamètre faits au tour.

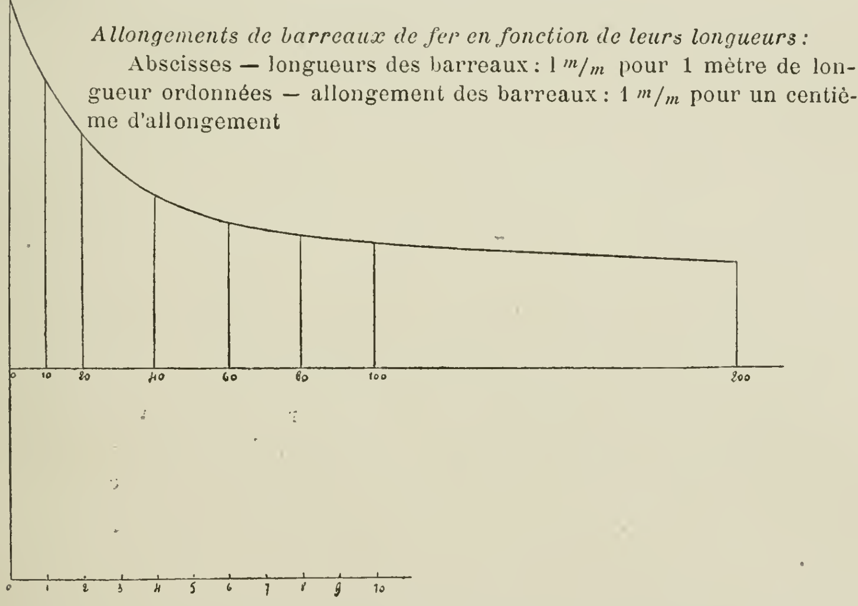
Les parties rondes étaient raccordées aux têtes carrées par des congés calibrés.

Entre ces congés les éprouvettes avaient une longueur uniforme de 200 millimètres.

Dans le tableau qui résume ces essais, M. Joëssel a, comme d'habitude, exprimé les résistances en kilogrammes par millimètre carré de la section primitive, et les allongements en % de la longueur des barreaux entre les congés.

| DÉSIGNATION DES PRODUITS ET MODE D'OPÉRER | Longueur des barreaux entre les congés en m/m. | Résistance de rupture. | Allongement 0/0. |
|---|---|---|---|
| | m/m | k | 0/0 |
| Barreaux de fer doux avec congés rompus à la vitesse ordinaire 40 à 50" par barreau. | 10 | 35.06 | 78.» |
| | 20 | 32.44 | 64.» |
| | 40 | 32.96 | 44.5 |
| Tous les barreaux ont cassé entre les congés. | 80 | 32.96 | 36.83 |
| | 100 | 31.92 | 32.66 |
| | 200 | 32.34 | 28.33 |

« Il résulte de ce tableau, dit M. Joëssel, que la longueur des barreaux a peu « d'influence sur leur résistance à la rupture, mais en a beaucoup sur leurs « allongements %; ceux-ci diminuent lorsque la longueur des barreaux augmente.




*Allongements de barreaux de fer en fonction de leurs longueurs :*
Abscisses — longueurs des barreaux : 1 $^m/_m$ pour 1 mètre de longueur ordonnées — allongement des barreaux : 1 $^m/_m$ pour un centième d'allongement

« Si, avec les nombres observés on trace une courbe, ayant pour abscisses les lon- « gueurs des barreaux et pour ordonnées les allongements, on obtient une ligne « très régulière, convexe vers l'axe des abscisses, qui s'abaisse d'abord rapide- « ment, et tend à devenir parallèle à cet axe pour le barreau ayant 200 milli- « mètres de longueur. On peut conclure de là que les résultats donnés par des « barreaux qui ont des longueurs différentes, mais égales ou supérieures à 200 « millimètres, sont néanmoins comparables entre eux. »

Les essais de M. Joëssel peuvent se représenter par une formule analogue à celle de W. Fairbairn :

$$l = a + \frac{b}{L}$$

Les constantes qui satisfont aux résultats, sauf pour la première éprouvette, sont :

$$a = 24.825 \qquad b = 783.5$$

ce qui nous donne :

$$l = 24.825 + \frac{783.5}{L}$$

Si nous admettons que les constantes s'appliquent encore pour des valeurs de L plus grandes que 200 millimètres, nous aurons pour :

| | | |
|---|---|---|
| L = 100 | $l$ = 32.66 | Δ |
| L = 200 | $l$ = 28.33 | 3.33 |
| L = 300 | $l$ = 27.44 | 0.89 |
| L = 400 | $l$ = 26.78 | 0,66 |

On voit qu'à partir de L = 200 les erreurs que l'on commet sur les allongements, par rapport à la longueur de l'éprouvette, sont relativement faibles.

Les considérations de M. Joëssel seraient donc de la plus grande importance, si elles étaient vérifiées, pour des métaux d'une autre nature que celui essayé.

Essais de M. le professeur Bauschinger. — Cet éminent professeur a entrepris, dans son laboratoire de l'Ecole polytechnique de Munich, les plus remarquables expériences sur la résistance des métaux.

Pour étudier l'homogénéité de la matière et la résistance à la traction des fers, il opéra sur des barres de $4^m,250$ de longueur et de $0^m,0249$ de diamètre. Les barres étaient divisées sur leur longueur en 17 parties de 25 centimètres numérotées de 0 à 17.

M. Bauschinger a noté avec le plus grand soin les diamètres et les allongements, après rupture, de ces diverses sections ; nous donnons le relevé général pour deux de ces expériences.

En examinant ces chiffres, on remarquera :

1° Que dans les deux essais, sauf aux environs de la section de rupture, et, pour le fer à nerf, dans certains points particuliers dus peut-être à des défauts d'homogénéité, le volume de chaque portion de la tige varie peu par rapport au volume primitif, 1 à 2 % en moins, ce qui confirme les expériences scientifiques de Wertheim, etc. ;

| NUMÉROS des divisions. | FER A NERF | | | FER A GRAIN FIN | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sections après rupture. | Longueur entre repèr. après rupt. en m/m. | Volume après rupture. | Sections après rupture. | Longueur entre repèr. après rupt. en m/m. | Volume après rupture. |
| 0 | 455 | | | 446 | | |
| | | 291 | 0.132 | Rupture. | 330 | 0.147 |
| 1 | 434 | | | 407 | | |
| | | 277 | 0.120 | | 284 | 0.115 |
| 2 | 444 | | | 441 | | |
| | | 275 | 0.122 | | 273 | 0.120 |
| 3 | 444 | | | 447 | | |
| | | 276 | 0.122 | | 269 | 0.120 |
| 4 | 440 | | | 453 | | |
| | | 278 | 0.122 | | 267 | 0.120 |
| 5 | 440 | | | 458 | | |
| | | 286 | 0.125 | | 264 | 0.120 |
| 6 | 418 | | | 458 | | |
| | | 291 | 0.121 | | 266 | 0.121 |
| 7 | 418 | | | 458 | | |
| | | 304 | 0.127 | | 264 | 0.120 |
| 8 | 416 | | | 458 | | |
| | | 296 | 0.123 | | 263 | 0.120 |
| 9 | 418 | | | 462 | | |
| | Rupture. | 333 | 0.139 | | 262 | 0.121 |
| 10 | 389 | | | 462 | | |
| | | 308 | 0.119 | | 263 | 0.121 |
| 11 | 372 | | | 462 | | |
| | | 314 | 0.116 | | 262 | 0.121 |
| 12 | 391 | | | 462 | | |
| | | 297 | 0.116 | | 262 | 0.121 |
| 13 | 426 | | | 462 | | |
| | | 283 | 0.120 | | 261 | 0.120 |
| 14 | 440 | | | 462 | | |
| | | 282 | 0.124 | | 260 | 0.120 |
| 15 | 426 | | | 462 | | |
| | | 285 | 0.121 | | 260 | 0.120 |
| 16 | 425 | | | 466 | | |
| | | 287 | 0.121 | | 259 | 0.120 |
| 17 | 429 | | | 466 | | |
| Dimensions primitives | 487 m/m² | 250 m/m | 0.122 | 487 m/m² | 250 m/m | 0.122 |
| Rupture à. . . . . | 3 380 k. | | | 3 390 k. | | |
| Contraction pour 0/0. . | 52.2 | | | 52.4 | | |
| Allongement pour 0/0. | 16.9 | | | 7.6 | | |

2° Le volume de la portion de $0^{m},250$ de la tige où a lieu la rupture, présente au contraire, une augmentation considérable de volume, 14 % pour le fer à nerf, 20 % pour le fer à grain fin qui, du reste, a cassé dans le voisinage de la tête.

Ces résultats seraient donc en contradiction avec ceux de M. Barba que nous avons déjà cités, et qui admet que le volume reste constant, même après rupture ;

3° Les tiges, sur toute leur longueur, diminuent le diamètre ; si nous laissons de côté les sections de $0^{m},250$ de la tige où s'est produite la rupture, nous voyons que, par rapport à la section primitive, il y a eu les diminutions suivantes :

| | FER A NERF | FER à grains fins. |
|---|---|---|
| Diminution minima % . . . . . . . . . . . . . | 6.69 | 4.31 |
| Diminution maxima % . . . . . . . . . . . . . | 23.61 | 9.44 |

Si, au contraire, nous prenons les sections des tiges dans les parties où le volume est resté sensiblement constant, c'est-à-dire pour lesquelles les diminutions de sections sont proportionnelles aux allongements linéaires, soit de 2 à 5 pour le premier essai, de 9 à 13 pour le deuxième essai, nous aurons comme différence pour %, par rapport à la section primitive :

| | 1er ESSAI | | 2e ESSAI | |
|---|---|---|---|---|
| | Section moyenne après rupture. | Δ 0/0. | Section moyenne après rupture. | Δ 0/0. |
| Divisions de 2 à 5 ....... | 442 | 9.2 | » | » |
| Divisions de 9 à 13 ...... | » | » | 462 | 5.1 |

On voit les erreurs considérables que l'on peut commettre au détriment des métaux doux et malléables, en rapportant la charge maxima de résistance ou les charges de rupture à la section primitive des pièces ;

4° Si nous examinons l'allongement % qu'a subi cette éprouvette, nous trouvons que la moyenne est de 16,9 % pour le premier essai et 7,6 pour le deuxième. Mais, si nous supposons que nous considérions les parties de $0^{m},250$ qui comprennent la section de rupture et qui l'entourent, nous arrivons aux résultats ci-contre :

| | LONGUEUR SUPPOSÉE DE L'ÉPROUVETTE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 4m25 | 0m250 | 0m500 | 1m000 |
| 1er Essai. — Allongement %. .... .. | 16.9 | 33.4 | 28.35 | 25.3 |
| 2e Essai. — Allongement %..... ... | 7.6 | 32.1 | 22.9 | 15.7 |

Il paraîtra au moins bizarre d'avoir autant de chiffres différents pour représenter la même propriété physique du même métal.

FORMULE PROPOSÉE PAR M. Vor DESHAYES. — M. Deshayes, ingénieur des Aciéries de Terre-noire, a proposé la formule suivante qu'il déduit d'un grand nombre d'essais entrepris pendant plusieurs années à Terre-noire.

Si on appelle :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $a$ | l'allongement | °/o | mesuré sur | 200 | millimètres. |
| $a^1$ | — | °/o | — | 100 | — |
| $a_1$ | — | °/o | — | 250 | — |

On a :

$$a^1 = a\left(1 + \frac{1}{100}\right)$$

$$a_1 = \frac{9}{10}\,a$$

EXPÉRIENCE DE M. LE BASTEUR A LA COMPAGNIE DE P.-L.-M. — M. Le Basteur, ingénieur à la Compagnie de P.-L.-M., a publié de très intéressantes expériences à ce sujet.

Il a pris des barres cylindriques en acier destinées à faire des entretoises de foyers de locomotives ; elles avaient 1m,15 de long et furent divisées par des coups de pointeau très légers en parties de 100 millimètres de longueur, sauf la dernière qui était seulement de 50 millimètres.

Ces barres furent rompues par une machine d'essais à la traction, et on mesura avec grand soin les allongements de chacune des subdivisions :

| | LONGUEUR primitive. | LONGUEUR après rupture. | Δ |
|---|---|---|---|
| 1re Division . . . . . . . . | 100 m/m | 111 m/m | 11 m/m |
| 2e » . . . . . . . . | 100 | 111 | 11 |
| 3e » . . . . . . . . | 100 | 112 | 12 |
| 4e » . . . . . . . . | 100 | 113 | 13 |
| 5e » . . . . . . . . | 100 | 113 | 13 |
| 6e » . . . . . . . . | 100 | 111 | 11 |
| 7e » . . . . . . . . | 100 | 124 | 24 |
| Rupture. | | | |
| 8e » . . . . . . . . | 100 | 115 | 15 |
| 9e » . . . . . . . . | 100 | 114 | 14 |
| 10e » . . . . . . . . | 50 | 56 | 6 |

La rupture de la barre et, par suite, la striction, s'était produite dans le septième intervalle, plus près du huitième que du sixième ; c'est, en effet, dans cet intervalle de 200 millimètres que les allongements maxima de 24 millimètres et de 15 millimètres se sont produits ; dans les autres, au contraire, il y a une régularité assez notable.

M. Le Basteur fait remarquer, avec raison, que si on prend l'allongement proportionnel, après rupture, sur :

1° La longueur de la barre $1^m,15$, l'allongement est de 13,63 %
2° Sur 200 $^m/_m$ comprenant la striction — 19 %
3° Sur 100 — — — 24 %

Expériences de M. Kirkaldy. — Cet éminent ingénieur a entrepris des essais de même nature pour étudier l'influence de la longueur de l'éprouvette sur l'allongement proportionnel à la rupture. Voici sa conclusion :

« Afin de déterminer si les barreaux s'allongent également sur toute leur « longueur, la distance entre les coups de pointeau extrêmes a été divisée en « demi-pouces : à quelques exceptions près, on a trouvé un même accroissement « de longueur d'un bout à l'autre du barreau jusqu'à un point très rapproché « de la charge de rupture : à ce moment, il se produit plus ou moins brusque- « ment une *striction* en *un point*, quelquefois en *deux points*, dans quelques « cas exceptionnels, en trois points différents. »

Expériences de M. Ferdinand Gautier. — Dans son travail sur les constructions en acier, M. Ferdinand Gautier cite toute une série d'expériences des plus intéressantes, faites en 1870, sur des aciers pour canons.

Ces aciers étaient de natures très différentes, puisque, comme le montre le tableau ci-dessous, pour une même longueur d'éprouvette, 200 millimètres par exemple, l'allongement % variait de 10 à 25 %.

## Allongements pour 100 mesurés sur

| 20 CENT. | 15 CENT. | 10 CENT. | 5 CENT. | NOMBRE D'ESSAIS |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 27.0 | 30.5 | 40.3 | 9 |
| 24 | 26.7 | 30.0 | 40.0 | 10 |
| 23 | 25.7 | 29.2 | 38.0 | 10 |
| 22 | 24.1 | 28.1 | 38.0 | 10 |
| 21 | 24.0 | 28.0 | 35.6 | 10 |
| 20 | 22.9 | 26.6 | 35.2 | 10 |
| 19 | 21.4 | 25.0 | 32.1 | 10 |
| 18 | 20.2 | 24.4 | 29.9 | 10 |
| 17 | 19.3 | 22.6 | 28.5 | 10 |
| 16 | 17.9 | 20.7 | 25.4 | 10 |
| 15 | 17.2 | 20.6 | 25.0 | 10 |
| 14 | 16.0 | 18.5 | 24.5 | 10 |
| 13 | 14.8 | 17.6 | 22.2 | 10 |
| 12 | 13.6 | 15.2 | 19.0 | 10 |
| 11 | 12.7 | 14.7 | 18.6 | 10 |
| 10 | 11.3 | 12.7 | 15 7 | 6 |

On voit que, pour un même acier, suivant que l'éprouvette aura 200 millimètres ou 50 millimètres de longueur, l'allongement % sera de 25 à 40 % — 18 à 29,9 % — 10 à 15,7 %.

M. Gautier remarque que la formule

$$\Delta = a + \frac{b}{l}$$

dans laquelle $\Delta$ représente l'allongement %, $l$ la longueur de l'éprouvette, $a$ et $b$ des constantes, serait assez d'accord avec les faits, à condition que $a$ et $b$ aient des valeurs différentes suivant chaque nature d'acier.

Cette formule n'est, du reste, que celle proposée par Fairbairn.

Formule de M. Marché. — M. Marché, dans son mémoire déjà cité, a cherché à établir une formule donnant la valeur de l'allongement en fonction du diamètre de l'éprouvette, de la longueur de la tige et de la nature de l'acier dé-

finie par l'allongement de la partie de l'éprouvette qui n'est soumise ni à la striction, ni à la perturbation des têtes, et qu'il a appelé la zone moyenne.

En se reportant à la page 103, on trouvera la définition des différentes zones dont s'est préoccupé M. Marché et on comprendra parfaitement les notations ci-dessous.

Si on appelle :

$l_1$ — La longueur primitive des zones d'attache, $\Delta_1$ l'allongement moyen produit dans ces parties de la tige.

$l_2$ — La longueur primitive de la zone moyenne, $\Delta_2$ l'allongement correspondant.

$l_3$ — La longueur de la zone d'étranglement, $\Delta_3$ l'allongement moyen correspondant.

$l$ — La longueur totale de l'éprouvette, $\Delta$ l'allongement proportionnel à la rupture.

On a :

$$l_1 \Delta_1 + l_2 \Delta_2 + l_3 \Delta_3 = l . \Delta.$$

$$l_2 = l - l_1 - l_3.$$

d'où :

$$l_1 \Delta_1 + l_3 \Delta_3 + l \Delta_2 - (l_1 + l_3) \Delta_2 = l \Delta$$

$$\Delta = \Delta_2 + \frac{l_1 \Delta_1 + l_3 \Delta_3 - (l_1 + l_3) \Delta_2}{l}$$

M. Marché, admettant que $l_1$ et $l_3$ sont proportionnels au diamètre primitif $d$ de la tige, il obtient :

$$(1) \quad \Delta = \Delta_2 + m \frac{d}{l}$$

Dans l'exemple que nous avons cité, p. 102, et qui a servi a M. Marché à établir cette formule, on a :

$$\Delta_2 = 18 \quad \text{et } m = 47.5$$

et l'équation deviendrait :

$$\Delta = 18 + 47.5 \frac{d}{l}$$

Les hypothèses de M. Marché ne sont certainement pas absolument exactes, et cette formule n'est vraie que pour la nature des aciers que M. Marché a étudiés ; les constantes $\Delta_2$ et $m$ peuvent prendre des valeurs très différentes suivant qu'on opère sur des aciers durs ou doux. M. Marché a eu toutefois une idée ingénieuse en introduisant justement dans sa formule un coefficient $\Delta_2$ qui est une des déterminantes des propriétés physiques de l'acier.

Essais de M. E. Cornut. — D'après tous les renseignements que nous venons d'indiquer, on voit que les différents expérimentateurs ont dû bien vite abandonner la pensée de trouver, pour les fers et les aciers, une formule reliant d'une façon absolue les longueurs de l'éprouvette et les allongements totaux à la rupture dans les essais de traction, quelle que soit la qualité du métal dur ou doux et quelle que soit l'usine de fabrication.

Certains auteurs ayant fait un grand nombre d'expériences sur les produits

d'une même usine, ont donné des formules approximatives s'appliquant exclusivement à ces métaux et reconnaissant, du reste, qu'il fallait modifier les constantes de la formule pour les métaux de la même usine mais de qualités physiques différentes.

Je crois même que ces formules ne sont plus exactes en pratique lorsqu'il s'agit d'un métal de même nature, fabriqué par une même usine mais à des époques différentes.

J'ai entrepris un assez grand nombre d'essais à ce sujet, sur des tôles d'acier doux Martin, pour générateurs, fabriquées par la même usine à différentes époques; les éprouvettes de mêmes dimensions avaient été préparées par le même constructeur et cassées sur la même machine par le même personnel.

Toutes les tôles d'acier avaient satisfait aux conditions de résistance et d'allongement imposées par le cahier des charges.

Il est bien évident que si la relation qui lie l'allongement $l$ à la rupture, à la longueur de l'éprouvette L était, comme on l'a proposé, de la forme

$$l = a + \frac{b}{L}$$

$a$ et $b$ étant des constantes, cela reviendrait à dire que pour deux valeurs de L, 200 millimètres et 100 millimètres par exemple, les différences des allongements °/₀ devraient être constantes.

Voici les résultats de nos essais :

**Tôles de 10 m/m et 11 m/m.**

| | Nombre d'éprouvettes cassées. | Résistance à la rupture. | ALLONGEMENT % A LA RUPTURE sur 200m/m | sur 100m/m | Δ |
|---|---|---|---|---|---|
| Essais du 19 avril 1890 ....... | 4 | 36 k. | 28.2 | 37.2 | 8.9 |
| » 5 » » ...... | 6 | 37 | 30.2 | 36.5 | 6.3 |
| » 18 nov. 1889....... | 5 | 36.5 | 29.7 | 37.8 | 8.1 |
| » » » » ....... | 7 | 36.7 | 29.8 | 38 | 8.2 |
| » » » » ....... | 13 | 37 | 30.1 | 38 | 8.1 |
| » 16 oct. » ....... | 6 | 37.2 | 29.7 | 37.2 | 7.5 |
| » 11 sept. » ....... | 20 | 36.6 | 30.1 | 36.6 | 6.5 |
| » 9 août » ....... | 15 | 36.3 | 30.5 | 35.6 | 5.1 |
| » » » » ....... | 5 | 36.7 | 30.3 | 38 | 7.7 |
| » 9 juillet » ....... | 19 | 36.3 | 30.7 | 37.8 | 7.1 |
| » 25 juin » ....... | 13 | 37.3 | 30 | 36.2 | 6.2 |
| » 18 mai » ....... | 8 | 37 | 30.7 | 38.3 | 7.6 |
| » 14 » » ....... | 4 | 36.6 | 31 | 38.5 | 7.5 |
| » 9 février » ....... | 2 | 36.6 | 31 | 36 | 5 » |

Tôles de 14 m/m.

| | Nombre d'éprouvettes cassées. | Résistance à la rupture. | ALLONGEMENT % A LA RUPTURE | | Δ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | sur 200m/m | sur 100m/m | |
| Essais du 12 sept. 1889 ...... | 12 | 36.6 | 30.7 | 38.6 | 7.9 |
| » 9 août 1889 ...... | 7 | 36.3 | 29.9 | 38 | 8.1 |

Tôles de 16 m/m.

| | Nombre d'éprouvettes cassées. | Résistance à la rupture. | ALLONGEMENT % A LA RUPTURE | | Δ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | sur 200m/m | sur 100m/m | |
| Essais du 19 avril 1890....... | 3 | 36.4 | 28 | 38.3 | 10.3 |
| » 5 » » ....... | 3 | 36.9 | 30.1 | 37 » | 6.9 |
| » 30 oct. 1889....... | 7 | 37.2 | 32 | 40.1 | 8.1 |
| » 18 mai » ....... | 4 | 37.6 | 30.4 | 38 » | 7.6 |

Si on examine les colonnes 2 et 3 de ces tableaux, on observera la régularité très remarquable de la fabrication de ces tôles, dont les livraisons se sont échelonnées sur près de quinze mois, et pourtant les différences des allongements sont loin de rester constantes.

## Nécessité de fixer une longueur commune d'éprouvette

Toutes les observations, que nous venons de présenter, montrent suffisamment que si l'on veut avoir des essais comparables, il faut fixer une longueur commune pour l'éprouvette type à employer dans les essais suivant, bien entendu, les différentes formes des pièces soumises aux expériences.

Cette résolution est d'autant plus nécessaire que l'on est aujourd'hui dans le chaos le plus extraordinaire sur cette question, comme le prouve le tableau que nous publions.

## Tableau donnant la longueur utile de l'éprouvette employée dans certains pays et par un certain nombre d'expérimentateurs

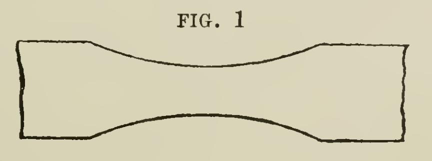
| | | |
|---|---|---|
| France | Génie Maritime | 200 m/m |
| | Ministère des Travaux publics | 200 » |
| | Ministère de la Guerre | 100 » |
| Angleterre | Board of trade | 254 » |
| | Amirauté Anglaise | 203,2 » |
| | Lloyd's Register | 203,2 » |
| | Bureau Veritas | 203,2 » |
| | Whitworth | 50 » |
| Belgique | Ministère des Travaux publics | 250 » |
| | Usines de Couillet | 220 » |
| Allemagne | Union des Chemins de fer allemands | 200 » |
| | Réunion de Munich | 200 » |
| Suisse | École Polytechnique de Zurich | 200 » |
| | Barrow | 50,8 » |
| | Bauschinger | 150 — 200 — 250 |
| | Bauschiner | 400 » |
| | Staatsbahn | 100 -- 200 |
| | Usines de Reschitza | 250 » |
| | Jerkontoret | 200 » |

## Influence des formes générales des éprouvettes

Essais de M. E.-J. Reed. — M. E.-J. Reed, constructeur en chef de l'amirauté anglaise, a publié des essais entrepris à l'arsenal de Woolwich, pour juger de l'influence de la forme de l'éprouvette sur la résistance et l'allongement à la rupture.

Au moment où l'emploi de l'acier commença à se répandre dans la construction des navires, l'Amirauté anglaise exigea que les barreaux d'épreuves eussent une largeur uniforme sur une longueur de 150 millimètres. Avant que cette règle ne fût imposée, les constructeurs anglais avaient, en effet, pour règle, de réduire la bande à la largeur demandée par des arcs de cercle (fig. 1).

FIG. 1



Essais des tôles d'acier avec entailles circulaires et rectangulaires

| LONGUEUR DE L'ENTAILLE. | DIMENSIONS | | | Température de la salle d'épreuv. Fahrt | | RÉSISTANCE TOTALE à la rupture | | RÉSISTANCE à la rupture par m/m² | | Allongement en centièmes | | OBSERVATIONS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Épaisseur. | Largeur. | Section. | R | C | R | C | R | C | R | C | ENTAILLE RECTANGULAIRE. | ENTAILLE CIRCULAIRE. |
| m/m | m/m | m/m | m/m | deg | deg | kll. | kil. | kil. | kil. | | | | |
| 200 | 13 | 25.7 | 334 | 69 | 69 | 19.690 | 21.815 | 58.950 | 65.317 | 7 | 12 | Rompus à l'un des angles. | Rompus au milieu. |
| 175 | 13 | 25.4 | 330 | 65 | 65 | 20.770 | 22.070 | 62.935 | 66.868 | 10.5 | 11 | 1 au milieu, 2 à un angle. | id. |
| 150 | 13 | 25.7 | 334 | 65 | 65 | 21.475 | 22.100 | 64.296 | 66.158 | 16.5 | 9 | 1 au milieu, 2 près du milieu. | id. |
| 125 | 13 | 25.7 | 334 | 65 | 66 | 19.561 | 22.239 | 58.567 | 66.588 | 5.5 | 10.5 | Tous à un angle. | id. |
| 100 | 13 | 25.7 | 334 | 66 | 66 | 21.523 | 23.000 | 64.440 | 68.880 | 10 | 9 | Tous à un angle. | id. |
| 75 | 12.7 | 25.4 | 323 | 72 | 71 | 20.465 | 22.000 | 63.354 | 68.076 | 14.5 | 5.5 | 2 au milieu, 1 à un angle. | 1 près du milieu, 2 au milieu. |
| 50 | 13 | 25.7 | 334 | 67 | 69 | 21.770 | 23.175 | 65.187 | 69.390 | 16 | 8 | 2 au milieu, 1 à un angle. | 1 au milieu, 2 près du milieu. |
| 25 | 13 | 25.4 | 330 | 71 | 71 | 22.200 | 24.275 | 67.275 | 73.555 | 8.5 | 3 | 1 près du milieu, 2 à un angle. | Tous trois près du milieu. |

Cette disposition limitait la possibilité de la rupture à une longueur très restreinte.

M. E.-J. Reed prit une tôle d'acier qu'il découpa en bandes ayant 57 millimètres de largeur; il ramena ces largeurs à 25 millimètres dans la partie destinée à recevoir la section de rupture, et les raccords entre les deux largeurs étaient faits, dans une série, par des arcs de cercle (fig. 2), dans une autre série, par des entailles carrées (fig. 3).

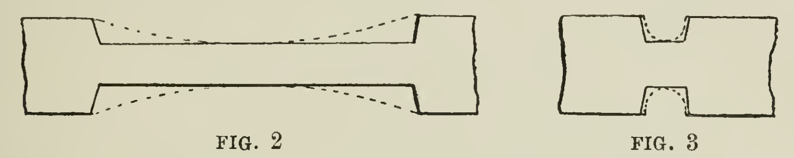


FIG. 2 FIG. 3

La longueur de la partie rectiligne de 25 millimètres de largeur, a varié de 200 millimètres à 25 millimètres. On a essayé pour chaque éprouvette de longueur rectiligne déterminée dans ces limites, trois éprouvettes à raccords rectilignes et trois éprouvettes à raccords curvilignes.

Le tableau page 120 résume ces intéressants essais.

M. Reed en tire les conclusions suivantes :

« On verra que dans ces épreuves qui furent conduites avec le plus grand « soin, le même métal cassa sous un effort notablement moindre quand il était « réduit à une largeur uniforme que quand l'amincissement n'avait lieu qu'en « un point. En comparant les barreaux ramenés à une largeur uniforme sur une « longueur de 20 centimètres ou sur une longueur de 25 millimètres seulement, « on verra que la résistance apparente s'est élevée d'une moyenne de 19 kil. 690 « à une moyenne de 22 kil. 200, et, si nous comparons le premier cas avec le cas de la « réduction par l'arc de cercle sur la moindre longueur, la différence est de 19 kil. 690 « à 24 kil. 275. Ces faits d'expérience montrent l'importance de la préparation « des bandes d'acier pour les essais de traction, si l'on veut obtenir des résultats « comparables. Des expériences analogues ont été faites avec tôles de fer et ont « montré que les mêmes différences se produisaient, suivant la manière dont la « bande est taillée. »

Expériences de M. Kirkaldy. — Cet éminent ingénieur a opéré de très nombreux essais pour démontrer la nécessité de donner une certaine longueur à l'éprouvette dont on suppose, bien entendu, la section régulière.

Sur des éprouvettes cylindriques, M. Kirkaldy faisait, au tour, des rainures circulaires, et, dans tous les cas, les charges de rupture par millimètre carré augmentaient, mais la striction diminuait.

M. Kirkaldy croit que cette rainure ainsi pratiquée met obstacle au développement de la striction.

Expériences de M. Joessel. — M. Joëssel, ingénieur de la Marine, a publié dans le *Mémorial du Génie Maritime*, année 1872, un travail des plus

intéressants, sur la classification des métaux, d'après leur allongement et leur résistance à la rupture dans les essais de traction.

| DÉSIGNATION DES PRODUITS ET MODE D'OPÉRER | Longueur des barreaux entre les congés en m/m. | Résistance de rupture. | Allongement en centièmes. |
|---|---|---|---|
| | | k | |
| Barreaux de fer doux avec congés, rompus à la vitesse ordinaire 40" à 50" par barreau. — Rompus entre les congés . . . . . . . . . . . . . . | 10 m/m | 35.06 | 78 0/0 |
| | 20 | 32.44 | 64 |
| | 40 | 32.96 | 44.5 |
| | 80 | 32.96 | 36.83 |
| | 100 | 31.92 | 32.66 |
| | 200 | 32.44 | 28.33 |
| Même fer, à angles vifs, rompus à la vitesse ordinaire. — Entre les congés | 200 | 31.92 | 28.91 |
| Acier fondu Jackson. — Barreaux avec congé, rompus à la vitesse ordinaire entre les congés . . . . . . . . . . | 100 | 83.10 | 13.50 |
| | 200 | 83.15 | 9.33 |
| Même acier, à angles vifs, vitesse ordinaire. — Rompus dans un angle . . . | 100 | 59.75 | 4.49 |
| | 200 | 56.95 | 3.25 |

M. Joëssel fait remarquer qu'il résulte de ces chiffres : « que la forme des « barreaux à leurs extrémités n'a qu'une faible influence sur les résultats observés « dans les essais à la traction lorsqu'il s'agit de barreaux en fer. Avec les angles « vifs même, les barreaux de ce métal n'ont pas cédé aux raccordements des « parties rondes et carrées. Les barreaux d'acier, au contraire, ont tous rompu « en ces points, et de leurs courbes de ténacité il résulte que leur résistance vive « de rupture a été diminuée, par le fait des angles vifs, dans le rapport de « 4, 2 à 1, c'est-à-dire de plus des trois-quarts. »

Expériences de M. Barba. — M. Barba rend compte, dans l'ouvrage que nous avons déjà cité, des expériences qu'il a faites sur l'influence des entailles et qui concordent comme résultat avec les précédents.

## Influence de la durée de l'essai sur la résistance et l'allongement à la rupture

La durée pendant laquelle on fait un essai à la traction est très variable et dépend de la manière adoptée pour procéder aux essais et aussi du système de la machine à essayer.

Or, il est bien évident que la durée totale d'une expérience à la traction fait varier le temps pendant lequel l'éprouvette est soumise à chaque charge partielle.

On verra, d'après les expériences de Vicat, que nous citons plus loin, que des fils de fer les plus chargés présentaient des allongements sensiblement proportionnels à la durée de l'expérience, et que toute charge dépassant la limite d'élasticité, mais inférieure à la charge de rupture, produit la rupture après un certain temps d'expérience.

Les essais de M. Thurston, sur des fils de fer et sur le bois, de M. Kidder, sur le bois, permettent de tirer des conclusions semblables.

Il n'est donc pas douteux que l'on peut supposer *à priori* que la durée de l'expérience peut produire des différences sur les charges maxima de résistance et sur les allongements totaux à la rupture, et qu'il est intéressant de procéder à l'étude de ces phénomènes.

Essais de la Marine. — La circulaire ministérielle du 9 février 1885 reproduit les conditions de durée que nous avons indiquées précédemment.

Si nous supposons qu'il s'agisse de recevoir des tôles d'acier du type de l'Association, dont la charge de résistance maxima est de 40 kilogrammes par millimètre carré de section primitive, on voit que la charge initiale sera de 32 kilogrammes, et qu'il nous restera comme charge supplémentaire 8 kilogrammes, ou 17 opérations à effectuer.

Il faudrait donc à chacune des opérations attendre un quart de minute au moins et plus, si, au bout de ce temps, l'allongement se continuait, puis, mesurer l'allongement correspondant, et non pas se contenter de le tracer avec la pointe d'un compas sur le côté de l'éprouvette, car, sous les charges successives, les traits s'écarteraient et les renseignements qu'ils donneraient après rupture seraient absolument sans valeur.

Nous avons opéré un assez grand nombre d'essais en suivant toutes les prescriptions de la Marine, et la durée des opérations a varié de 20 à 40 minutes, suivant la nature du métal soumis aux expériences, ce qui ferait de 3 à 1,5 barrettes par heure.

En pratique, on opère beaucoup plus vite, et suivant les métaux et aussi le type de la machine, on peut compter essayer de 7 à 16 barrettes à l'heure.

On remarquera combien dans cette question il est regrettable que la pratique n'ait pas une règle plus uniforme.

Expériences de M. Kirkaldy. — Les expériences de M. Kirkaldy ont été faites dans des conditions absolument spéciales :

1° Dans les conditions ordinaires de durée ;

2° A l'aide d'un déclic, il soumettait instantanément et sans choc l'éprouvette à une charge pouvant amener la rupture.

La durée de l'essai était donc réduite à 0.

M. Kirkaldy a conclu de ses essais :

1° Lorsque les essais sont opérés lentement, la section de rupture est nerveuse ; elle a, au contraire, un aspect grenu quand l'opération est faite rapidement ;

2° La résistance à la rupture par millimètre carré diminue quand la durée de l'essai est plus courte que lorsqu'elle est plus longue ;

3° La striction, au contraire, ne varie pas avec la durée de l'essai.

Expériences de M. Barba. — Cet ingénieur a opéré sur des barreaux d'acier doux de 16 millimètres de diamètre et 100 millimètres de longueur utile.

Il a opéré de trois manières distinctes :

1° Essai par traction rapide d'une durée de 2 minutes 1/2 ;

2° Essai par traction lente, sans arrêt, de la durée de 75 minutes ;

3° Essai par tractions réitérées, au nombre de dix, en laissant un intervalle de 5 minutes entre chacune d'elles, afin de laisser le barreau revenir à la température ambiante.

Voici les résultats obtenus :

| MODE DE TRACTION | RÉSISTANCE | |
|---|---|---|
| | Charge de rupture. | Allongement 0/0. |
| | k | |
| 1° Traction rapide . . . . . . . . . . | 39.35 | 32 0/0 |
| 2° Traction lente . . . . . . . . . . | 37.20 | 34 » |
| 3° Traction réitérées . . . . . . . . | 41.35 | 35.75 |

Les conclusions de M. Barba sont donc absolument contraires à celles de M. Kirkaldy.

1° La charge de rupture par millimètre carré de section augmente quand la durée de l'essai est court ;

2° L'allongement pour 100 diminue quand la durée de l'essai est court.

M. Barba croit devoir expliquer ces faits par la différence de température du métal suivant la durée des essais.

Expériences de M. Joessel. — M. Joëssel a entrepris des essais analogues qui sont exposés dans le tableau ci-contre.

| DÉSIGNATION DES PRODUITS ET MODE D'OPÉRER. | LONGUEUR des barreaux entre les congés en millimètres. | RÉSISTANCE de rupture. | ALLONGEM. en centièmes. |
|---|---|---|---|
| Barreaux de fer doux avec congés, rompus très lentement avec arrêt d'une heure à la charge de 29 kos, rompus entre les congés . . . . . . . . . . | 200 | 33k35 | 25.81 |
| Même fer, avec congés, rompus à la vitesse ordinaire de 40" à 50" par barreau, rompus entre les congés. . . . | 200 | 32.44 | 28.33 |
| Même fer, avec congés, rompus très vite, avec secousses, rompus entre les congés . . . . . . . . . . . . . . | 200 | 32.44 | 22.75 |

On voit que, d'après les résultats de cet expérimentateur :

1° La vitesse de l'essai ne semble pas avoir d'influence bien notable sur la charge de rupture ;

2° Si nous comparons les deux premiers essais, le troisième introduisant une question de chocs dont on ignore l'influence, l'allongement pour 100 augmente avec la vitesse de l'épreuve.

Essais de M. Bauschinger. — Dans des essais très nombreux et très longs, M. Bauschinger a trouvé que, pratiquement, on pouvait négliger, pour les essais à la rupture du fer et de l'acier, l'influence de la durée des charges successives.

Lorsqu'on arrive à des charges voisines de la charge du maximum de résistance, il est bon, avant d'ajouter une nouvelle charge, de laisser revenir le levier de la machine d'essai à sa position normale pour être sûr de ne pas dépasser la charge nécessaire à la rupture.

On voit donc combien cette question de l'influence de la durée de l'épreuve est encore obscure, et combien il serait nécessaire que de nouvelles expériences, faites avec soin, régularité et méthode, vînssent jeter un jour nécessaire sur cette partie des essais à la traction.

## Influence de la forme de la section transversale des barreaux d'épreuve

Expériences de la Staatsbahn. — M. Le Basteur a résumé, dans son ouvrage déjà cité, les expériences faites par la Staatsbahn sur des barreaux à sections cylindriques et rectangulaires de 400 millimètres de longueur.

« Le tableau suivant permet d'effectuer la comparaison.

| MATIÈRES. | Numéro de dureté | CHARGE DE RUPTURE en kilogr. par m/m2. | | | ALLONGEMENTS % mesuré sur 25 c/m. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Barreaux cylindriq. (1) | Barreaux rectangul. (2) | Différences. (2) — (1) | Barreaux cylindriq. (1) | Barreaux rectangul. (2) | Différences. (2) — (1) |
| Acier Martin | 2 | 76 | 69 | — 7 | » | » | » |
| | 3 | 73 | 78 | + 5 | 0.9 | 2.7 | + 1.8 |
| | 4 | 60 | 70 | + 10 | 22 | 17 | — 5 |
| | 5 | 55 | 54 | — 1 | 22 | 24 | + 2 |
| | 6 | 47 | 49 | + 2 | 26 | 28 | + 2 |
| | 7 | 45 | 40 | — 5 | 27 | 31 | + 4 |
| Acier Bessemer | 3 | 108 | 108 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| | 4 | 61 | 61 | 0 | 20 | 21 | + 1 |
| | 5 | 64 | 60 | — 4 | 17 | 21 | + 4 |
| | 6 | 56 | 53 | — 3 | 15 | 24 | + 9 |
| | 7 | 51 | 47 | — 4 | 24 | 26 | + 2 |
| Fer à nerf | | 37 | 40 | + 3 | 22 | 29 | + 7 |
| Fer à grain | | 41 | 51 | + 10 | 28 | 16 | — 12 |

« On remarquera que la longueur des deux séries de barreaux est la même, « 400 millimètres, que leur section était de 720 millimètres carrés pour les barres « à section rectangulaire, et 491 millimètres carrés pour les barres cylindriques; « qu'enfin, le rapport de la section finale des barres laminées à celle des lin- « gots bruts était comme 1 : 77 pour les barres rectangulaires, et 1 : 93 pour les « barres cylindriques. »

M. Le Basteur conclut ainsi :

« Il y a donc présomption que la forme de la section transversale des bar- « reaux d'épreuve n'influe pas sensiblement sur le quantum de la charge de rup-

« ture par millimètre carré : tout au plus pourrait-on dire que les barreaux « rectangulaires paraissent un peu plus favorables que les barreaux ronds à l'al- « longement des barres d'épreuve. »

Ces expériences, par suite des différences de sections et de laminage, signalées plus haut, et des écarts indiqués au tableau, ne me paraissent pas très concluantes.

Expériences de M. Adamson. — A l'Institut du Fer et de l'Acier, tenu à Paris, M. Adamson a rendu compte d'essais très considérables qu'il a entrepris sur le fer et l'acier ; il a fait des essais sur l'influence de la forme de la section dans les essais à la traction.

Dans une même barre d'acier doux Bessemer, il a découpé 3 éprouvettes, dont une avait une section rectangulaire et les deux autres la forme ci-après ; la longueur des éprouvettes était constante : 25 millimètres ; voici les résultats obtenus :

| Numéros des éprouvettes. | Surface de la section, m/m2. | Limite d'élasticité en k° par m/m2. | Tension maxima. | Allongement à la rupture. |
|---|---|---|---|---|
| 24 | 612 | 30 | 43.5 | 24 |
| 25 | 592 | 31 | 43.5 | 21 |
| 26 | 600 | 31 | 43.6 | 24 |

M. Adamson a fait d'autres essais sur des barres rondes, carrées, rectangulaires, et il conclut très nettement de ces essais que la forme de la section n'a aucune influence sur la charge maxima, mais il ne tire aucune conclusion en ce qui concerne l'allongement.

Expériences de M. Barba. — M. Barba a fait construire des barreaux d'épreuves à sections égales, mais de formes différentes. Le corroyage fut égal pour tous, et les barreaux furent recuits uniformément après le laminage.

Le tableau page 128 donne la moyenne des résultats pour chaque forme.

M. Barba fait remarquer avec raison que, dans les expériences qu'il a faites pour se rendre compte de la variation du rapport de la largeur à l'épaisseur, après la rupture, dans une éprouvette rectangulaire, on a vu que ce rapport augmentait ; l'épaisseur avait donc diminué plus qu'elle n'aurait pu le faire si la tête avait été plus épaisse, exerçant ainsi son influence en tous sens.

| DÉSIGNATION des formes de section. | Limite d'élasticité. | Charge de rupture. | Striction. | Allongement total sur 100 m/m. |
|---|---|---|---|---|
| | k. | k | | m/m |
| Rond. ........ | 25.3 | 41.5 | 0.417 | 32.7 |
| Carré.......... | 25.7 | 41.7 | 0.427 | 33.7 |
| Rectangle... .. | 24.6 | 39.6 | 0.435 | 36.0 |

« D'après cela, on comprend, dit M. Barba, qu'une barrette de section rec-
« tangulaire donnera, par suite de la forme habituelle des têtes, un allongement
« supérieur à celui des barreaux à section circulaire, puisque la tête de la pre-
« mière barrette n'influencera que la largeur et presque pas l'épaisseur.

« L'allongement, dans ce cas, sera donc intermédiaire entre l'allongement du
« barreau à section circulaire et celui du barreau idéal n'ayant pas de têtes. »

M. Barba a recherché ensuite, par des expériences directes, le meilleur rapport à donner aux dimensions transversales des éprouvettes, pour avoir, avec une épaisseur constante, l'allongement maximum.

Pour la dureté d'acier essayé, et pour l'épaisseur de 10 millimètres, il a trouvé que le rapport $\frac{\text{épaisseur}}{\text{largeur}} = \frac{1}{6}$ donnait l'allongement maximum.

« Il est à présumer, ajoute M. Barba, que ce rapport doit être constant pour
« des tôles d'acier de plus grande dureté et d'épaisseur quelconque.

« De nouvelles expériences plus complètes pourraient confirmer plus sûrement
« la valeur de ce rapport. »

---

## TÉNACITÉ

La ténacité des métaux, en pratique, est la propriété qu'ils possèdent de résister plus ou moins facilement aux actions brusques, chocs, etc., qui tendent à les déformer d'une façon permanente ou à les rompre.

Cette qualité des métaux ne se manifeste que lorsqu'ils subissent des déformations permanentes; elle est absolument distincte de la propriété qu'ils ont de résister aux actions lentes et continues comme les efforts de traction.

La connaissance de la charge de rupture ne peut donner aucun renseignement sur la charge de rupture aux chocs.

La ténacité résulte surtout de la quantité de carbone dissous ou incorporé dans le fer.

L'intensité des efforts et la loi qui régit ces déformations permanentes, variant avec la ténacité de l'acier, permettent justement d'en donner la mesure.

Si nous supposons qu'une pièce d'acier, de fer. etc., est soumise à un effort continu, lent et progressif, on comprend parfaitement que cet effort persistant se transmette successivement de molécule à molécule, de telle façon que toutes les molécules du corps sont sensiblement soumises à un effort semblable. Dans le cas, au contraire, où l'effort est brusque, instantané, on comprend que toutes les molécules du corps puissent ne pas avoir le temps de se répartir cet effort, et que les premières molécules touchées peuvent être désagrégées tout d'abord tandis que d'autres molécules n'auront supporté aucun effort apparent.

Les métaux peuvent donc présenter des qualités très différentes, lorsqu'ils sont soumis à des efforts lents ou à des efforts brusques.

## Fragilité ou résistance aux chocs

Il est très intéressant, en pratique, de rechercher le degré de ténacité des métaux.

Cette qualité des matériaux, qui dépend surtout de leur composition chimique, est, ainsi que nous l'avons dit, absolument indépendante de leur résistance aux actions lentes et continues, comme les efforts de traction, par exemple ; et la connaissance de la charge de rupture à la traction ne peut donner aucun renseignement exact sur la fragilité ou la résistance du métal aux actions brusques.

On connaît ces tôles à chaudières en fer puddlé, qui ont été fabriquées pendant bien des années en Belgique et dans certaines localités du Nord.

Ces tôles essayées à la traction donnaient :

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Charge de rupture | en long . . | 32 | à | 35 | kilogrammes |
| — | en travers. . | 27 | à | 29 | — |
| Allongements.... | en long . . | 2 % | à | 4 % | |
| — | en travers. . | 1/2 % | à | 1 1/2 % | |

Au point de vue de la résistance à la traction, ces tôles présentaient donc les résistances normales des numéros 3 et 4, mais leur ductilité étaient très faible ; aussi, quand on cherchait à les courber à froid ou même à chaud, elles cassaient ou présentaient des criques profondes sur toute la surface extérieure de la courbure.

Si on prend avec une pince un morceau de ces tôles, qu'on le place sur le côté

d'une enclume et qu'on frappe avec un marteau la partie qui dépasse en porte à faux, on voit le métal se briser net sous des chocs bien modérés.

Ces métaux sont connus en pratique sous le nom de métaux *aigres* et *secs.*

M. Thomasset, qui a exécuté un très grand nombre d'essais à la traction, a fait une observation des plus intéressantes.

« Certains fers phosphoreux, dit-il, convenablement affinés, donnent parfaite-
« ment 35 à 36 kilogrammes de résistance, avec 15 à 18 % d'allongement. Mais
« si l'on observe l'éprouvette, on aperçoit des criques transversales bien avant
« le maximum de résistance ; vers 20 kilogrammes par millimètre carré, le mé-
« tal est déjà tout criqué. Et cependant, à première vue, les résultats totaux
« feraient accepter ces fers dans bien des cas où ils deviendraient dangereux. »

Ce genre de métal serait immédiatement déclassé, au contraire, si aux essais à la traction on ajoutait des essais aux chocs ; car sous une très faible hauteur de chute, il casserait net sans emboutissage.

Ces tôles employées dans la construction des chaudières ont été causes de bien terribles accidents ; je rappellerai l'explosion en gare de Loos de la locomotive n° 3 372, construite à Tubize, en Belgique, les explosions de Champigneul-Mondigny, de Lignevarine, Saint-Denis, du Méré, etc.

Expériences de M. Le Basteur. — Dans son magnifique ouvrage sur les métaux à l'Exposition de 1878, M. Le Basteur cite différents faits du plus haut intérêt sur la *fragilité* des métaux.

Cet ingénieur essaya à la traction différents fers de forge des Ardennes qui lui donnèrent une grande résistance : 48 kilogrammes, et un allongement des plus satisfaisants : 14 %.

Ce fer présentait donc une grande ténacité sous des tractions successives, et à l'opposé de ceux dont nous venons de parler, une grande ductilité, même à froid, les barres se pliant facilement au marteau sans criques apparentes. Mais si avec un burin on faisait une très légère incision sur la surface extérieure d'une éprouvette, elle se brisait net sous un coup de marteau modéré.

M. Le Basteur soumit ce métal à des essais aux chocs, à l'aide de l'appareil de la fonderie nationale de Bourges ; les résultats furent très mauvais et le fer présenta une grande fragilité aux chocs.

A l'analyse chimique il contenait de 0.25 à 0.50 de phosphore.

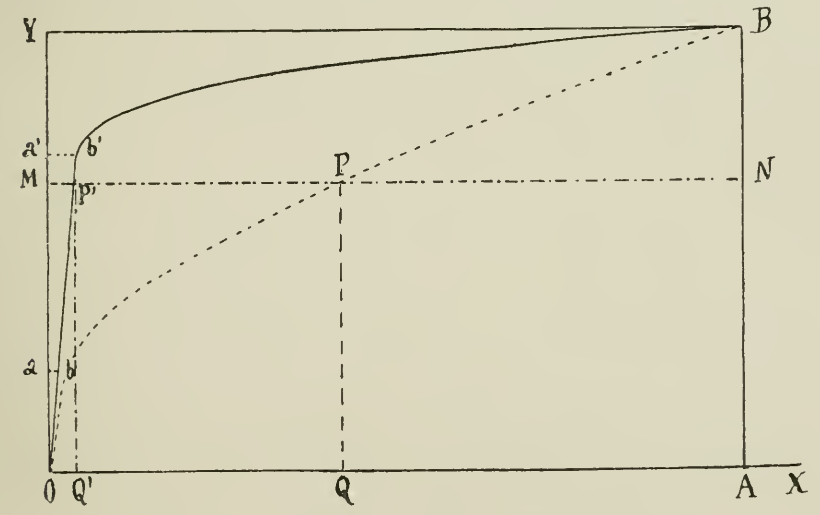
Deuxièmes essais de M. Le Basteur. — Cet ingénieur compare deux fers puddlés.

Au point de vue de la résistance à la limite d'élasticité, on voit que ces deux métaux présentaient des différences très sensibles, tandis qu'à la rupture, au contraire, ils avaient à peu près les mêmes propriétés.

| DÉSIGNATION. | Phosphore à l'analyse chimique. | Résistance par m/m² à la limite d'élasticité. | Résistance par m/m² à la rupture. | Allongement proportionnel. |
|---|---|---|---|---|
| Fer des Ardennes . . . . . . . . . . | 0.37 0/0 | 30 k. | 40 k. | 22 0/0 |
| Fer au Bois de Reschitza (Hongrie). . | » | 10 k. 70 | 37 k. 20 | 21.6 0/0 |

« Considérons, dit M. Le Basteur, deux barreaux identiques de l'un et de « l'autre métal et traçons les courbes de résistances de ces barreaux, en portant « en abscisses les allongements réels, en ordonnées les résistances brutes, et sup- « posant les résistances à la rupture et les allongements égaux dans les deux cas.

« Nous obtiendrons des courbes ayant la forme ci-dessous :




*Traits pleins* OP'B, courbe relative ou fer des Ardennes.
*Traits pointillés* OPB, courbe relative au fer de Reschitza.

« Supposons qu'en un certain point ces barreaux présentent une paille qui « réduise leur action de S à S' : $p$ étant la charge de rupture par millimètre carré « commune aux deux métaux considérés, O Y = S $p$. ; la charge de rupture « totale correspondante à la section S' sera S'$p$ = OM.

« La résistance vive de rupture opposée par le barreau en fer des Ardennes à « la charge $p$ S' sera égale à la surface O P' Q', tandis qu'à cette même charge « le fer de Reschitza opposera une résistance vive de rupture de O $b$ P Q ; cette « dernière résistance vive est infiniment supérieure à la première.

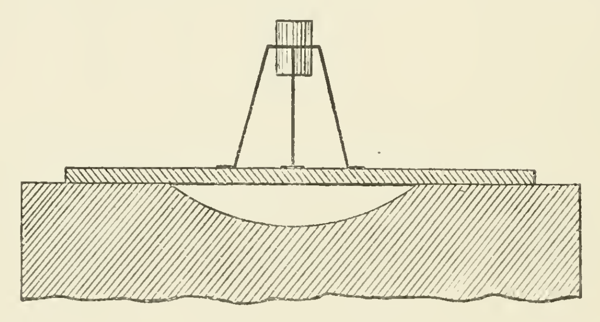
« Donc une paille qui réduirait la section résistante de S à S' provoquerait « très probablement la rupture brusque du barreau en fer des Ardennes sous « l'effort *p* S', alors que le barreau en fer de Reschitza résisterait à cet effort en « subissant une simple déformation permanente. »

On voit que certains fers et aciers ont absolument besoin d'être essayés aux chocs, les résultats donnés par les essais à la traction masquant des défauts physiques très graves.

## Épreuves aux chocs par les matières explosives

Depuis quelques années on a effectué des essais aux chocs en se servant de matières explosives au lieu d'un mouton.

Essais de M. Adamson. — C'est au mois de juin 1876 que M. Adamson entreprit des essais comparatifs sur la résistance aux chocs des tôles de fer et d'acier.



Sur un bloc d'enclume carré de $0^m,500$ de côté ayant en son milieu un creux de forme sphérique de $0^m,250$ de diamètre et $0^m,10$ de profondeur, M. Adamson plaçait successivement des tôles de formes carrées de $0^m,450$ de côté et d'une épaisseur de $0^m,011$ pour le fer et $0^m,0095$ pour l'acier.

A $0^m,300$ au-dessus du centre de la tôle en mettait, sur un petit trépied, une charge constante de 1 350 grammes de fulmi-coton comprimé.

Les tôles de fer étaient du fer extra (Best-Best) et l'acier Bessemer et Martin, de l'acier doux recuit.

« L'explosion du coton-poudre eut pour effet, dit M. Adamson, de briser la tôle « de fer suivant un cercle correspondant au creux, et de projeter le disque détaché « et plus ou moins déchiré au fond du creux de l'enclume. »

Pour l'acier, au contraire, il n'y avait pas rupture mais un simple emboutissage, correspondant au creux de l'enclume et à $0^m,075$ de profondeur maximum.

Au mois de septembre 1877, M. Adamson recommença ces expériences sur

30 tôles de qualité Best-Best pour le fer provenant des meilleures forges y compris celle de Lowmoor, et des aciers doux Martin et Bessemer.

Dans ces nouveaux essais, la charge de fulmi-coton fut réduite à 680 grammes. et la distance de la matière explosive à la tôle à $0^m,225$ au lieu de $0^m,300$.

Les résultats des derniers essais furent exactement les mêmes que ceux de 1876, L'acier doux recuit offrit une résistance bien supérieure au fer sous les actions des chocs, s'emboutissant plus ou moins, mais ne présentant aucune rupture ni même de fente; le fer au contraire se brisait en plusieurs segments.

Les aciers non recuits présentèrent au contraire des résultats très variables.

Sur deux tôles d'acier, M. Adamson fit une expérience des plus intéressante. Une première explosion les avait déprimées par un emboutissage de $0,^m045$ de profondeur. On retourna les tôles mettant la partie convexe au-dessus; par une seconde explosion, la tôle fut emboutie en sens inverse, sans présenter, après cette double action, ni fissure, ni défaut.

C'est à cet ordre d'idées que se rattachent les épreuves des tubes et des obus à l'aide de la poudre, entrepris par la Marine en 1877 à Ruelle, par Whitworth, pour comparer son acier comprimé liquide à des aciers d'autres provenances et par le Creusot.

## Essais aux chocs des aciers

SERVICE DE L'ARTILLERIE DE MARINE. — Les établissements de l'Artillerie de marine ont à recevoir, pour leurs différents services: des aciers en barres — Pièces en acier. — Tôles d'acier. — Aciers profilés. — Ils ont établi 6 classes qui peuvent servir à fabriquer les barres, pièces, ferrures; mais les tôles et les profilés ne peuvent être formés qu'avec des aciers des quatre premières classes.

| DÉSIGNATION. | CHUTE à effectuer au lingot | | CARBONE |
|---|---|---|---|
| | à la partie supérieure. | à la partie inférieure. | |
| 1re classe. — Aciers extra-doux. | 28 0/0 | 4 0/0 | moins de 0.15 0/0 |
| 2e classe. — Aciers doux...... | » | » | de 0.15 à 0.25 0/0 |
| 3e classe. — Aciers demi-doux. | » | » | de 0.25 à 0.35 0/0 |
| 4e classe. — Aciers demi-durs. | » | » | de 0.35 à 0.50 0/0 |
| 5e classe. — Aciers durs ...... | » | » | de 0.50 à 0.70 0/0 |
| 6e classe. — Aciers extra-durs.. | » | » | plus de 0.70 0/0 |

*Tableau récapitulatif des épreuves*

| Classe | NATURE DES ACIERS. | ESSAIS A LA TRACTION. | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | BARRETTES NON TREMPÉES. | | | | | | | | | Barrettes trempées. Aciers en barres. Pièces en acier. Tôles d'acier. Aciers profilés. Augmentation de résistance à la rupture | |
| | | ACIERS EN BARRES. PIÈCES EN ACIER. | | | TÔLES D'ACIER. ACIERS PROFILÉS. de 10 à 30 m/m d'épaisseur. | | | TÔLES D'ACIER. ACIERS PROFILÉS. de 3 à 10 m/m d'épaisseur. | | | | |
| | | Résistance à la rupture par millimètre carré. | Allongement moyen %. | Minimum de l'allongement dans les épreuves individuelles. | Résistance à la rupture par millimètre carré. | Allongement moyen %. | Minimum de l'allongement dans les épreuv. individuelles | Résistance à la rupture par millimètre carré. | Allongement moyen %. | Minimum de l'allongement dans les épreuv. individuelles | Maximum. | Minimum. |
| $1^{re}$ | Aciers extra doux (fer fondu, fer homogène, etc.) | $34^k$ à $40^k$ | 29 | 26 | $34^k$ à $40^k$ | 25 | 22 | $35^k$ à $43^k$ | 23 | 20 | $10^k$ | » |
| $2^e$ | Aciers doux. | $40^k$ à $48^k$ | 25 | 22 | $40^k$ à $48^k$ | 23 | 19 | $42^k$ à $50^k$ | 21 | 17 | $15^k$ | » |
| $3^e$ | Aciers demi-doux. | $46^k$ à $54^k$ | 22 | 20 | $46^k$ à $54^k$ | 20 | 17 | $48^k$ à $58^k$ | 18 | 15 | $25^k$ | » |
| $4^e$ | Aciers demi-durs. | $55^k$ à $65^k$ | 18 | 15 | $55^k$ à $65^k$ | 16 | 13 | $58^k$ à $68^k$ | 15 | 12 | » | $25^k$ |
| $5^e$ | Aciers durs. | $65^k$ à $75^k$ | 12 | 8 | » | » | » | » | » | » | » | $35^k$ |
| $6^e$ | Aciers extra durs | plus de $75^k$ | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » |

*à faire subir aux aciers*

| ESSAIS DE PLIAGE. | ESSAIS AU CHOC. | EMPLOIS PRINCIPAUX |
|---|---|---|
| A bloc. | Les barreaux trempés doivent supporter sans se rompre 15 coups de mouton. | Pièces de forges. — Emboutis. — Rivets. — Eclisses. Bandages de roues. Métal soudable et ne trempant que très légèrement. L'acier extra doux peut remplacer le fer au bois et le fer puddlé de 1re qualité dans presque toutes leurs applications. — La tôle d'acier extra doux peut être substituée avantageusement à la tôle au bois. |
| A bloc au-dessous de 5m/m d'épaisseur avec un rayon égal à l'épaisseur à partir de 5m/m d'épaisseur et au-dessus | Id. | Pièces de forge. — Bandages de roues. Profilés et tôles pour les constructions de l'artillerie, flasques, entretoises, etc. |
| » | Id. | Essieux de l'artillerie. Vis de pointage. Tiges de piston pour marteau pilon. Pièces de forge exigeant une grande résistance. Petits rails, traverses, etc. |
| » | Id. | Acier nuance canon. Pièces exigeant une grande dureté et une grande résistance, glissières, tiges de piston, arbres de transmission, etc. Ressorts doux. |
| » | Les barreaux non trempés doivent supporter sans se rompre 15 coups de mouton. | Pièces exigeant une très grande dureté, glissières, etc. Ressorts. Marteaux. |
| » | » | |

Le tableau que nous donnons pages 250-251 indique les conditions auxquelles doit satisfaire le métal.

*Forme de préparation des barreaux d'épreuve.*— Les barreaux d'épreuve au choc auront 200 millimètres de longueur et une section carrée de 30 millimètres de côté. Ils seront tirés d'un petit lingot spécial obtenu au moment de la coulée et forgé.

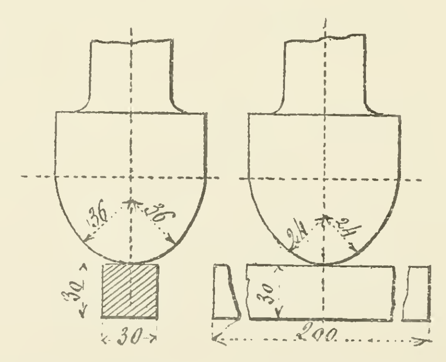
Dans le cas de commandes de faible importance pour lesquelles il n'est pas fait de coulée spéciale et dont les produits sont tirés de lingots existant en magasin, les barreaux d'épreuve sont pris dans ces lingots.

Les essais seront exécutés sur des barreaux non trempés mais recuits, ou sur des barreaux trempés et recuits. La trempe et le recuit seront faits dans les mêmes conditions que les opérations correspondantes des barreaux d'essai à la traction des aciers en barres.

*Exécution des épreuves.* — La hauteur de chute du mouton pour les essais sera de. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 2$^{m}$,750

| | |
|---|---|
| Le poids du mouton . . . . . . . . . . . . | 18 kilogrammes |
| Le poids de l'enclume . . . . . . . . . . | 350 » |
| La distance des couteaux . . . . . . . . . | 160 millimètres |
| La saillie des couteaux . . . . . . . . . . | 50 » |

Le mouton sera en acier trempé, sa surface de frappe sera conforme au croquis ci-dessous.




On mesure après l'épreuve, et à titre de renseignement, la flèche de la partie du barreau comprise entre les couteaux.

*Nombre et interprétation des essais.*— Pour les aciers des quatre premières classes, il est fait par coulée (ou par commande, dans le cas d'une commande ne donnant pas lieu à une coulée spéciale), un essai au choc sur un barreau trempé.

Pour les aciers de la 5$^{e}$ classe, l'épreuve est faite sur un barreau non trempé.

Il n'est pas fait d'épreuve pour les aciers de la 6$^{e}$ classe.

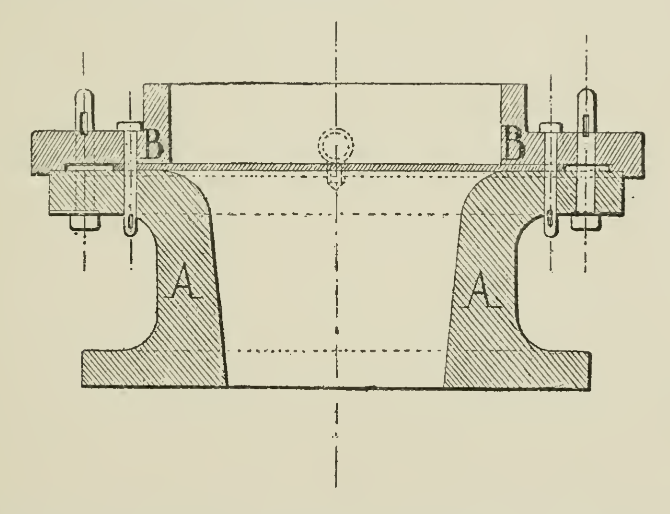
Le barreau doit supporter sans se rompre 15 coups de mouton.

Si le barreau essayé donne de bons résultats, la coulée est acceptée.

S'il ne remplit pas les conditions imposées, il est fait sur deux barreaux des contre-essais qui devront donner tous deux des résultats satisfaisants, sinon la coulée sera rebutée.

Essais au choc par le Comptoir des Forges Suédoises. — Le rapport des essais entrepris par MM. F. Didron, E. Westman et C.-A. Augstrom, pour le Comptoir des Forges Suédoises, nous offre le compte rendu d'expériences au choc des plus intéressantes sur des tôles d'acier et de fer de différentes provenances Suédoises, Anglaises, Creusot, Terre-noire, Fr. Krupp à Essen et Borsig à Berlin.

Ces expérimentateurs, croyant d'après leur expérience que les essais au choc se font mieux sur des tôles rondes que carrées, firent préparer des disques de 1 mètre de diamètre et de 9 millimètres d'épaisseur.




L'appareil d'essai se composait, comme l'indique la figure, d'un bloc de fonte creux A A conique à l'intérieur et portant à la partie supérieure un arrondi suffisant pour que les tôles en se cintrant ne soient pas soumises à un angle vif qui pouvait amener des ruptures brusques.

Le centre de la tôle correspondait au centre de ce cône; un cadre en fonte B B reposait sur la tôle. L'assemblage des deux pièces A A, B B était obtenu à l'aide de boulons à clavettes, 6 de 37 millimètres de diamètre et 36 de 28 millimètres, tous placés sur deux circonférences et en quinconce; l'ensemble de cet appareil pesait 2 570 kilogrammes et reposait sur une tôle de 47 millimètres d'épaisseur qui terminait une fondation de déchets de fonte et de copeaux de tour.

Le mouton cylindrique à deux guides pesait 872 kilogrammes, et son extrémité se terminait par une demi-sphère de 253 millimètres de diamètre.

La hauteur de chute maxima était de 9 mètres.

Dans des essais préliminaires on se rendit compte de l'impossibilité d'adopter une hauteur de chute constante pour tous les métaux ; des tôles de fer puddlées se cassaient au premier coup sous une chute de 1 mètre, tandis que les tôles d'acier résistaient à 25 coups de mouton à $1^{m},50$ de hauteur, 6 à 7 coups à $4^{m},50$, 3 à 9 mètres. Les expérimentateurs désirant mesurer surtout la déformation produite sous l'action du choc, décidèrent de prendre les hauteurs de chute de :

$4^{m},50$ pour les tôles d'acier
$1^{m},50$ » » de fer

Ils mesuraient la dépression après chaque coup de mouton et arrêtaient les essais dès que les tôles présentaient des indices de cassure.

Les conclusions de ces essais sont des plus intéressantes :

1° Le Comité ne croit pas que le nombre de coups de mouton puisse indiquer toujours avec certitude la qualité de la tôle.

2° La profondeur de la dépression, relevée avant le coup de mouton produisant la rupture, donne, au contraire, une indication plus exacte de la valeur du métal.

3° Il est impossible de juger de la qualité de la tôle suivant la manière dont elle s'est rompue.

4° Les tôles d'acier ont montré toujours une bien plus grande résistance au choc que les tôles de fer.

5° Les tôles qui présentaient la plus grande dépression au choc montraient aussi la plus grande ductilité dans les essais à la traction.

6° La résistance au choc diminue, en général, avec la quantité de carbone contenu dans les aciers ; mais le corps qui a l'influence la plus néfaste sur la ductilité d'un métal au choc, c'est le phosphore, et, comme il agit beaucoup moins sur les résultats de l'allongement % à la rupture dans les essais de traction, on voit que le phosphore empêche de conclure, étant donné l'allongement de rupture, la résistance d'un métal au choc.

Ce fait a surtout été très remarquablement mis en évidence dans des essais sur les tôles de fer de Lowmoor et de Bowling ; ces deux tôles donnaient le même allongement de rupture à la traction : 9.5 %, mais elles contenaient 0,0921 et 0.125 de phosphore ; la première présenta une dépression de 68 millimètres sous trois coups de mouton de $1^{m}50$, la seconde cassa net au premier coup.

7° Le recuit des tôles d'acier augmente très sensiblement la résistance au choc.

8° La trempe, au contraire diminue la résistance au choc.

Voici un tableau qui résume les chiffres les plus intéressants de ces essais :

Tôles Bessemer Suédoises.

| | Nombre de coups de mouton à 4m50. | Dépression finale moyenne | Allongement pour 0/0 à la rupture de traction sur 200 m/m |
|---|---|---|---|
| Carbone 0.10 0/0 et au-dessous ..... | 6 | 159 | 30 |
| » 0.10 0/0 à 0.15 0/0......... | 6 | 157 | 27.5 |
| » 0.15 0/0 à 0.20 0/0.. ...... | 6.2 | 153 | 27.5 |
| » 0.20 0/0 à 0.25 0/0......... | 6.2 | 150 | 25.8 |
| » 0.25 0/0 à 0.30 0/0...... .. | 6.3 | 144 | 22 » |

Tôles Martin Suédoises.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Carbone 0.10 0/0 et au-dessous...... | 7 | 174 | 35.4 |
| » 0.10 0/0 à 0.15 0/0........ | 6 | 165 | 38.3 |
| » 0.15 0/9 à 0.20 0/0........ | 6.5 | 168.5 | 30 |
| » 0.20 0/0 à 0.25 0/0........ | 7 | 166 | 28.7 |

Expériences du général Uchatius. — Le général Uchatius a entrepris de essais au choc les plus intéressants sur la résistance à la rupture de la fonte à la traction par choc.

Ces expériences, faites avec un expert scientifique tout spécial, lui permit de comparer des métaux entre eux d'après le nombre de coups nécessaires pour rompre des barreaux de mêmes dimensions, la hauteur de chute restant consante.

## Observations sur les essais aux chocs

Dans les essais aux chocs, il y a, pour comparer les résultats obtenus avec différentes machines, à étudier un point capital, c'est celui du travail perdu dans les conditions de l'expérience.

Pour ces essais on laisse tomber un poids d'une hauteur donnée sur la pièce soumise à l'épreuve.

Cette pièce repose sur deux points d'appui qui font partie d'une enclume dont

la masse, le poids, la charpente ou la maçonnerie qui la réunit au sol sont variables suivant les machines.

L'élasticité de tout cet ensemble de l'enclume, les vibrations de la pièce, la résistance de l'air vont absorber une partie plus ou moins considérable du travail dû à la chute du mouton, et cette partie du travail ne sera nullement employée à la déformation de la pièce.

Le rapport du travail perdu au travail total de chute est très variable; avec certaines installations, il atteint 0,50 à 0,60 avec d'autres 0,15 ou 0,20 seulement.

On voit donc combien il est nécessaire, pour que les essais aux chocs soient comparables, de s'entendre sur la question d'établissement des détails de l'appareil d'essai.

Dans les essais aux chocs doit-on adopter la méthode d'Adamson ou celle de Jercontor et de l'artillerie de marine, c'est-à-dire la méthode des explosifs ou celle du mouton ?

Je ne voudrais pas décider une question encore fort obscure, mais je ferai remarquer que dans la méthode Adamson on a un avantage considérable, c'est qu'elle ne donne qu'un seul fort coup qui permet, par la dépression produite, de mesurer la qualité de la tôle.

Mais, d'un autre côté, à moins de faire des essais préalables pour faire varier la charge de fulmi-coton suivant la qualité de la tôle, dans bien des cas, dans les essais de tôle de fer surtout, la tôle, au lieu de s'emboutir, se fracturera et on ne pourra se servir de la mesure de l'emboutissage pour comparer les tôles.

Le coton-poudre employé par Adamson était mouillé et bien comprimé; il est bien évident qu'il est nécessaire aussi d'être sûr de la grande régularité de ce produit.

Dans les essais au mouton, un des inconvénients les plus graves c'est que, si bien guidé que soit le mouton, on n'est pas absolument sûr qu'à chaque coup, il tombera juste au même point sur la tôle et, par suite, les efforts exercés peuvent ne pas être uniformes et la tôle casser bien avant le moment où elle se serait rompue si le coup de mouton avait été frappé toujours au centre.

---

# ESSAIS SUR LA DURETÉ DES MÉTAUX

On sait que la dureté est la propriété qu'ont les corps solides de résister aux efforts qui tendent à entamer leur substance.

Dans la mécanique, on doit limer, percer, raboter, tourner, fraiser, etc., à froid

les métaux, et toutes ces opérations sont plus ou moins faciles ou difficiles suivant la nature plus ou moins dure du métal.

La dureté ne se présente donc que lorsque le métal est soumis à des efforts produisant une *déformation permanente.*

Les recherches chimiques ont démontré que, pour le fer et l'acier, la dureté dépendait surtout de la proportion de carbone dissous ou incorporé à l'état de mélange.

De nombreuses expériences dues à MM. Kirkaldy, Kunt Styffe, le colonel Rosset, Bauschinger, ont démontré que, pour des aciers de différentes duretés, la durée de la période d'élasticité parfaite seule est variable, que le cœfficient d'élasticité reste sensiblement le même, et que l'on peut mesurer la dureté de l'acier, en étudiant l'intensité et la loi d'accroissement des déformations permanentes sous l'influence des efforts exercés.

Essais du colonel Rosset. — Le colonel Rosset a recherché le volume des entailles produites dans les différents métaux par un couteau de forme spéciale, sous un effort constant et déterminé.

Il a admis que la dureté des métaux est en raison inverse des volumes de l'entaille, et a pris pour base, c'est-à-dire pour 0, de la dureté l'entaille faite sous une charge de 3 850 kilogrammes sur du cuivre laminé, et représenté par 10, l'acier trempé le plus dur comme ne montrant aucune entaille sous l'action du couteau.

Les métaux se trouvent intercalés entre ces deux nombres suivant leur dureté.

Essais de M. Smith. — De très nombreux essais ont été faits par cet ingénieur sur des rails en acier Bessemer de Barrow, et il a pensé que l'on pouvait très bien mesurer la dureté de l'acier, en considérant l'effort nécessaire pour poinçonner les trous d'éclisses.

On sait, en effet, d'après les expériences de M. Barba, que le poinçon ne produit qu'une altération toute locale dans une zone circulaire de 1 m/m à 1 m/m.5; on peut donc, au lieu de percer tout le trou au foret, le poinçonner à 2 mil., 5 plus petit et l'amener à grandeur rigoureuse par la machine à percer.

Voici un tableau extrait de ces expériences :

Expériences sur les rails Bessemer de l'usine Barrow.

| | TENEUR EN CARBONE. | Effort nécessaire pour poinçonner un trou de 22 m/m 225 de diamètre épaiss. 19 m/m. | Résistance au cisaillement par m/m² correspondante | Effort de flexion donnant une flèche perman. $l = 0$ 914 | ESSAIS A LA TRACTION charge de rupture par m/m². | ESSAIS A LA TRACTION Allongement °/. sur 50 m/m 8 de longueur. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Kil. | Kil. | Ton. | Kil. | pour 100 |
| RAILS DOUX | 0.28 | 47.380 | 35.6 | 19.235 | 48.60 | 36 25 |
| | 0.29 | 49.670 | 37.4 | 20 554 | 51.17 | 34. 5 |
| | 0.30 | 50.110 | 37.7 | 20.808 | 51.82 | 34. 9 |
| | 0.32 | 51.750 | 38.9 | 20.978 | 51.97 | 32. 0 |
| RAILS DURS | 0.36 | 57.640 | 43.4 | 23.345 | 58.23 | 26. 0 |
| | 0.40 | 59.180 | 44.5 | 23.345 | 59.19 | 24. 5 |
| | 0.45 | 66.170 | 50.1 | 26.390 | 69.22 | 16. 5 |
| | 0.50 | 75.620 | 56.9 | 28.420 | 72.00 | 3. 0 |
| | 0.57 | 83.700 | 63.0 | 31.465 | 78.15 | 3. 0 |

On remarquera que l'effort nécessaire pour poinçonner le trou d'éclisse, la résistance au cisaillement, l'effort de flexion, la charge de rupture varient dans le même sens que la teneur en carbone, c'est-à-dire avec la densité, sans pourtant que les rapports des augmentations successives soient exactement les mêmes.

---

## ÉLASTICITÉ

En France, les Ingénieurs et les Constructeurs se préoccupent toujours, avec juste raison, dans leurs projets, d'une propriété spéciale à différents corps et surtout aux métaux, connus sous le nom *d'élasticité.*

Je ne puis traiter ici la question si importante et si complexe de l'élasticité, mais il me paraît indispensable d'indiquer où en sont nos connaissances sur un point si discuté de la mécanique moléculaire.

Les idées anciennement acceptées sur l'élasticité des corps étaient les suivantes :

Supposons une barre de fer AB placée verticalement et fixée d'une façon invariable à l'une de ses extrémités A. A l'autre extrémité, appliquons une petite force extérieure agissant dans la direction de l'axe de la tige, la tige s'allongera en diminuant légèrement de section, le point B venant en B'.

Si on venait à enlever cette force qui, par hypothèse, n'avait pas été trop grande par rapport à la section de la tige et à la nature du métal soumis à l'expérience, on admettait que la tige reprenait sa première position, le point B' remontait en B.

On disait dans ce cas que la *limite d'élasticité* n'avait pas été dépassée.

Si au contraire, la force avait été trop grande, après son enlèvement, la tige ne reprenait pas sa position primitive, le point B' ne remontait qu'en B" ; on disait alors que la *limite d'élasticité* avait été dépassée. Le solide avait subi une déformation permanente qui était indiquée par l'allongement permanent BB".

L'élasticité était donc considérée comme une propriété des corps, en vertu de laquelle ils reprenaient leur forme primitive lorsque les forces, contenues dans une certaine limite, qui les avaient déformés, cessaient d'agir.

Si la tige en expérience soumise à une force extérieure ne revient pas à sa forme première, on appelle *allongement total* la longueur BB' dont la barre s'est allongée sous l'influence de la force.

La force supprimée, l'allongement diminue, mais la tige ne reprend pas sa première longueur, on appelle *allongement permanent* la portion BB" de l'allongement total qui subsiste après la disparition de la force, et *allongement élastique*, la portion de l'allongement total qui disparaît avec la force, c'est-à-dire B' B".

L'expérience a démontré que cet allongement élastique est, pour le fer et l'acier, proportionnel à l'effort, ce qui fait qu'on l'a souvent appelé *allongement proportionnel* et qu'il a une valeur spéciale pour chaque métal.

## Charge limite d'élasticité

Si, pour fixer les idées, nous admettons que la tige que nous essayons est en fer, et que nous fassions l'expérience avec graduation, c'est-à-dire en enlevant et remettant des poids successifs, nous constaterons que, jusqu'à la charge de 15 kilogrammes environ par millimètre carré, nous n'observons aucun allongement permanent, du moins avec les moyens d'observations que l'on possédait il y a quelques années; lorsque nous retirons la charge, *l'allongement total* est donc dans ce cas purement un *allongement élastique*.

Mais, à partir de cette charge de 15 kilogrammes par millimètre carré, on voit les allongements permanents se produire et prendre de plus en plus d'importance par rapport aux allongements élastiques.

On admettait alors que la force sous laquelle ces allongements permanents se produisaient d'une manière sensible, représentait justement la *charge à la limite d'élasticité* du métal.

On supposait donc qu'avant cette charge la matière ne présentait pas d'allongements permanents, et, que de plus, ce chiffre de charge était constant pour le même métal.

Or, comme nous allons le voir, ces deux hypothèses sont fort douteuses.

On n'a pas toujours été d'accord sur la définition de cette limite d'élasticité.

Pratiquement on appelait donc charge à la *limite de l'élasticité* ou, par abréviation, *limite d'élasticité*, la charge sous laquelle les allongements permanents se produisent d'une manière sensible.

## Idées nouvelles sur l'élasticité

Il est évident qu'une pareille définition n'a rien de précis et de scientifique, et que cette limite cherchée dépendra de la valeur des expérimentateurs et des appareils de précision employés. Ainsi avec des éprouvettes de 100 millimètres de longueur entre repères et un vernier donnant le $\left(\frac{1}{20}\right)^e$ de millimètre, on trouvera facilement le premier allongement permanent quand il sera de 0 mil., 05 sur l'éprouvette, mais, M. Tresca, avec des cathétomètres est arrivé dans ses magnifiques expériences sur l'élasticité, avec des barres d'épreuves de $2^m,500$ de longueur, à observer le premier allongement permanent lorsqu'il était de 0 millimètre, 0005. Depuis les beaux travaux, mais déjà anciens, de M. Wertheim, des travaux plus récents, et surtout les magnifiques recherches de M. Bauschinger et de Tresca, ont prouvé, grâce à des appareils qui permettent une approximation de 2 dix-millièmes de millimètres, que même, sous des charges bien inférieures à celles de la limite d'élasticité, il y a déjà des allongements permanents.

Travaux de M. Wertheim. — M. Wertheim a exposé, en effet, dans un travail publié en 1848, que pour lui *il n'existait pas de vraie limite d'élasticité.* Il prétendait déjà à cette époque, que toute charge produit un allongement permanent, qui n'est appréciable que si on a eu soin de prendre une longueur de tige en proportion avec le degré de précision de l'appareil employé pour les lectures, et de laisser la charge agir pendant un temps suffisamment prolongé.

Les expériences de M. Bauschinger ont absolument vérifié les travaux de M. Wertheim.

Travaux de M. Eaton Hodgkinson. — Ce savant physicien anglais a fait des expériences les plus intéressantes sur la résistance du fer.

Il a pris une barre de fer forgé de 15 mètres de long et d'un diamètre de 0m,01313, et l'a soumise à des charges variant de 5 à 100 livres.

Le tableau ci-dessous donne le résumé de ses expériences.

| CHARGE PAR M/M² DE SECTION | | ALLONGEMENT PAR MÈTRE DE LONGUEUR | | | RAPPORT DE LA CHARGE A L'ALLONG. | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| en livres. | en kilogr. | total. | permanent. | élastique. | total. | élastique. |
| | | en millim. | en millimètres. | en millimètres. | | |
| 5 | 1.87 | 0.082 | » | 0.082 | 22.0 | 222. |
| 10 | 3.75 | 0.185 | » | 0.185 | 20.2 | 820. |
| 15 | 5.62 | 0.284 | 0.003 | 0.281 | 19.8 | 20.0 |
| 20 | 7.60 | 0.380 | 0.003 | 0.377 | 19.7 | 19.9 |
| 25 | 9.37 | 0.485 | 0.004 | 0.471 | 19.7 | 19.9 |
| 30 | 11.25 | 0.571 | 0.005 | 0.566 | 19.7 | 19.9 |
| 35 | 13.12 | 0.666 | 0.007 | 0.659 | 19.7 | 19.9 |
| 40 | 15.00 | 0.760 | 0.010 | 0.750 | 19.7 | 20.0 |
| 45 | 16.87 | 0.873 | 0.033 | 0.840 | 19.3 | 20.1 |
| 50 | 17.75 | 1.013 | 0 083 | 0.930 | 18.5 | 20.2 |
| 55 | 20.64 | 1.283 | 0.262 | 1.021 | 16.1 | 20.2 |
| 60 | 22.50 | 2.360 | 1.130 | » | 9.5 | » |
| 65 | 24.36 | 4.287 | 3.071 | 1.216 | 5.7 | 20.0 |
| 70 | 26.25 | 9.951 | 8.574 | 1.377 | 2.6 | 19.1 |
| 75 | 28.12 | 10.493 | 9.102 | 1.391 | 2.6 | 20.0 |
| 80 | 30.00 | 17.878 | 16.515 | 1.373 | 1.7 | 21.8 |
| 85 | 31.87 | 21.486 | 19.795 | 1.691 | 1.5 | 18.9 |
| 90 | 33.75 | 24.774 | 22.709 | 2.065 | 1.3 | 16.3 |
| 95 | 35.62 | 34.935 | 32.820 | 2.115 | 1.0 | 17.0 |
| 100 | 37.46 | rupture. | » | » | » | » |

On remarquera :

1° Que l'allongement permanent, avec les moyens d'observation qu'avait Hodgkinson, semble nul jusqu'à la charge de 5 kilogrammes par millimètre carré de section.

2° Jusqu'à 15 kilogrammes, l'allongement total est à peu près proportionnel à la charge.

3° C'est entre 20 et 22 kilogrammes, que l'allongement permanent prend des valeurs rapidement croissantes.

4° Jusqu'à 30 kilogrammes de charge par millimètre carré, le rapport de la charge à l'allongement élastique par unité de longueur reste constant.

5° A partir de la charge de 20 kilogrammes par millimètre carré de section, les allongements permanents augmentent beaucoup plus rapidement pour une même charge, que les allongements élastiques, et la constance du rapport des charges par unité de surface à l'allongement par unité de longueur n'existe plus.

M. Hodgkinson propose alors de considérer la limite d'élasticité comme dépassée.

Ce qui revient à donner pour définition de la charge limite de l'élasticité, la suivante:

On appelle charge à la limite d'élasticité, la charge pour laquelle le rapport de la charge par unité de surface à l'allongement par unité de longueur n'est plus constant.

6° On remarquera que l'allongement élastique va en croissant depuis la charge initiale jusqu'à la charge de rupture, mais que les accroissements successifs diminuent au fur et à mesure que la charge augmente.

7° M. Hodgkinson propose de prendre comme valeur du coefficient d'élasticité E, la moyenne des 16 rapports inscrits dans la dernière colonne de son tableau, c'est-à-dire la moyenne du rapport de la charge rapportée à l'unité de surface à l'allongement par mètre, pour toutes les charges auxquelles ont été soumis le métal entre O et la charge limite de l'élasticité, soit dans le cas présent 20.

Opinion de M. Victor Deshayes. — M. Victor Deshayes, Ingénieur des Aciéries de Terre-noire, dans son travail sur les rapports existant entre les compositions chimiques et les propriétés mécaniques des aciers, publié en 1879, définit ainsi la limite d'élasticité :

« Il arrive un moment où les déformations permanentes, d'abord très petites « et à peine mesurables, deviennent brusquement considérables. Au même moment les allongements (totaux), qui étaient, pendant la première période de « l'expérience, proportionnels aux charges, croissent plus vite que les charges... « Cette première période a pour limite supérieure *la limite d'élasticité*, et à « cette limite correspond une déformation, qui est ce qu'on doit appeler l'*allongement élastique maximum* ; le quotient de l'une par l'autre donne le module d'élasticité moyen à la limite d'élasticité. »

Opinion de M. Considère. — M. Considère, dans son travail, propose une autre définition, il prend « pour limite d'élasticité, la tension pour laquelle l'allongement total est le double de l'allongement élastique calculé. »

Dans les expériences de Hodgkinson, que nous avons citées, cette limite serait alors vers 22 kilogrammes.

Travaux de M. Bauschinger. — M. Bauschinger accepte pour définition de la limite de l'élasticité, la charge limite qui donne la proportionalité des charges aux allongements totaux.

Cet expérimentateur a été amené, dans son étude sur les aciers doux tout particulièrement, à examiner un point particulier de la courbe des déformations. Il

a remarqué, qu'au-delà de la limite d'élasticité, les allongements croissent assez lentement pendant un certain temps, le temps pendant lequel la charge reste sur la tige n'a pas d'action sur l'allongement, qui ne diminue pas non plus si on enlève la charge, observation qui est contradictoire avec celles d'autres expérimentateurs.

Cette seconde limite, M. E. Mayer, Ingénieur des Ponts et Chaussées, dans son intéressant compte-rendu des expériences de M. Bauschinger, l'appelle « *Limite de grande extension* » ou « *Limite de grande compression* ». A partir de cette limite, les allongements totaux et permanents croissent très rapidement, ils augmentent avec le temps que la charge reste en action, et les allongements décroissent pendant très longtemps après l'enlèvement.

M. Mayer classe les propositions émises par M. Bauschinger en quatre chapitres.

## I. — VARIATIONS DE L'ÉLASTICITÉ SOUS L'ACTION D'UNE CHARGE QUI DÉPASSE LES LIMITES PRIMITIVES DE L'ÉLASTICITÉ.

1° Lorsqu'on soumet une pièce à un effort qui dépasse la limite d'élasticité, mais qui est inférieur à la limite de grande extension, on produit une élévation de la limite d'élasticité. Cette élévation est d'autant plus grande que la charge est plus forte, et on peut la constater immédiatement après l'enlèvement de la charge. Lorsque la charge s'approche de la limite de grande extension, la limite d'élasticité atteint un maximum. Si la charge dépasse la limite de grande extension, la limite d'élasticité subit un abaissement qui, ainsi qu'on le verra plus loin, est momentané.

2° Lorsqu'on soumet une pièce à des efforts qui dépassent la limite de grande extension, celle-ci s'élève jusqu'à la valeur maximum de l'effort auquel la pièce a été soumise. On constate ce résultat immédiatementaprès l'enlèvement de la charge. Mais si, après cet enlèvement, on laisse la pièce en repos, l'élévation de la limite de grande extension dépasse l'effort maximum auquel la pièce a été soumise et se continue, en augmentant toujours, pendant des semaines, des mois et peut-être des années.

3° Dans les mêmes conditions qu'à l'article précédent, c'est-à-dire quand une pièce a été soumise à des efforts qui dépassent la limite de grande extension, la limite d'élasticité, mesurée immédiatement après l'enlèvement de la charge, se trouve abaissée et souvent réduite à zéro. Mais si la pièce est laissée en repos, la limite d'élasticité se relève, dépasse la valeur primitive, atteint au bout de plusieurs jours la valeur de l'effort auquel la pièce a été soumise et finit même, au bout d'un temps suffisant (à coup sûr au bout de plusieurs années), par dépasser cette valeur.

4° Le module d'élasticité (rapport des charges aux allongements) augmente généralement en même temps que la limite d'élasticité ; ce coefficient s'élève pendant la période de repos. Après plusieurs années, on l'a trouvé, sauf quelques exceptions, plus grand que dans l'état primitif.

## II. — VARIATIONS DE LA LIMITE D'ÉLASTICITÉ PAR LE MARTELAGE, LE RECUIT ET LA TREMPE.

De violentes secousses, comme en produit le forgeage à froid et les manutentions subséquentes, rabaissent un peu la limite de grande extension, mais elle reste encore bien supérieure à sa valeur primitive. Quant à la limite d'élasticité, elle retombe à sa valeur primitive, s'il n'y a pas extension de la pièce par le forgeage ; s'il y a extension, elle reste plus haut.

Voici maintenant les propositions relatives à l'action de hautes températures. suivies d'un refroidissement lent ou brusque.

L'action de l'échauffement et du refroidissement subséquent n'a d'influence, sur l'élasticité du fer fondu qu'à partir de 350° avec refroidissement brusque, et 450° avec refroidissement lent. Au-dessous de ces chiffres, l'échauffement suivi de refroidissement, même si on répète jusqu'à dix fois l'opération, est sans influence sur ces limites. Avec le fer soudé c'est à 400° que commence l'action quel que soit le mode de refroidissement.

Au-delà des limites que nous venons d'indiquer, l'action de l'échauffement suivi de refroidissement, lent ou rapide, est toujours dans le sens d'une diminution des deux limites, d'autant plus grande que l'échauffement a été plus fort, mais beaucoup plus marquée pour la limite d'élasticité que pour la limite de grande extension.

Le refroidissement brusque, après échauffement, affecte les deux limites, et surtout la limite d'élasticité beaucoup plus énergiquement que le refroidissement lent. Avec le refroidissement brusque, il suffira le plus souvent de 500°, et à coup sûr du rouge cerise, pour faire tomber la limite d'élasticité jusqu'à zéro ou jusqu'aux environs de zéro, aussi bien avec le fer fondu ou soudé qu'avec l'acier Bessemer, tandis que, dans le cas du refroidissement lent, on n'arrive jamais à un pareil abaissement de la limite d'élasticité, même après que l'échauffement a atteint le rouge cerise.

## III. — VARIATION DE L'ÉLASTICITÉ SOUS L'ACTION D'UN PETIT NOMBRE DE CHARGES SUCCESSIVES ALTERNATIVEMENT DE SENS CONTRAIRE.

Lorsqu'on soumet une pièce à un effort de traction supérieur à la limite d'élasticité, la limite d'élasticité à la compression se trouve notablement abaissée. Il suffit que la limite d'élasticité ait été dépassée à la traction, de quantités rela-

tivement faibles, pour que la limite d'élasticité à la compression se trouve abaissée jusqu'à zéro. On peut relever cette limite d'élasticité par l'action de la compression. Si ensuite on soumet la pièce à une compression qui dépasse cette limite d'élasticité, on trouve que la limite d'élasticité à la traction est abaissée jusqu'à zéro ou aux environs. Le temps a peu ou pas d'influence sur ces phénomènes, c'est-à-dire qu'une limite d'élasticité, abaissée par les actions précédemment décrites, ne se relève pas sensiblement au bout de plusieurs semaines.

Lorsqu'on soumet une pièce à des efforts croissants et alternativement de sens contraire, la limite d'élasticité dans un sens ne se trouve abaissée que lorsqu'on a préalablement dépassé la limite d'élasticité primitive dans le sens opposé.

Lorsque la limite d'élasticité dans un sens a été abaissée par un effort appliqué dans l'autre, et supérieur à la limite d'élasticité primitive, on peut relever la limite d'élasticité abaissée au moyen d'efforts croissants et alternativement de sens contraire. Mais on n'obtient ainsi qu'une nouvelle limite d'élasticité, notablement inférieure à la limite primitive.

IV. — VARIATION DE L'ÉLASTICITÉ ET DE LA STRUCTURE, ET CONDITIONS DE RUPTURE SOUS L'ACTION D'EFFORTS SUCCESSIFS RÉPÉTÉS UN TRÈS GRAND NOMBRE DE FOIS.

Lorsqu'on soumet une pièce à la répétition d'efforts, alternant entre une limite inférieure nulle et une limite supérieure voisine de la limite d'élasticité primitive, la rupture n'a pas lieu, même après un nombre d'efforts de 5 à 16 millions.

Quand on soumet une pièce à des efforts alternant entre zéro et une limite voisine de la limite d'élasticité primitive, ou dépassant plus ou moins cette limite, la limite d'élasticité s'élève et dépasse (et souvent de beaucoup) l'effort maximum subi par la pièce. Cet accroissement de la limite d'élasticité se continue à mesure que le nombre des efforts devient plus grand, sans pouvoir cependant dépasser une certaine limite.

La répétition des efforts, alternant entre zéro et une valeur supérieure $\varphi$, n'amène pas la rupture, si la limite d'élasticité peut être élevée par cette répétition jusqu'à une valeur plus grande que $\varphi$ ; si, au contraire, $\varphi$ est trop grand pour que la limite d'élasticité puisse dépasser cette valeur, la rupture se produira au bout d'un certain nombre d'efforts.

Lorsqu'une pièce a été soumise à des efforts plusieurs millions de fois répétés, la résistance à la rupture sous une charge statique n'en est pas diminuée, elle serait plutôt augmentée.

*Conclusion.* — On voit, d'après ce rapide exposé de quelques-uns des travaux importants, que l'on n'est pas d'accord sur la définition même de la *limite d'élasticité*, et que beaucoup d'expérimentateurs n'admettent pas les hypothèses qui ont été généralement acceptées jusqu'à ces dernières années.

## Recherche du coefficient d'élasticité

On comprend tout l'intérêt qu'il y a, en construction, à connaître le coefficient d'élasticité des principaux métaux, et nous avons vu comment MM. Hodgkinson, Bauschinger, etc..., ont déterminé, par des essais directs, cette donnée importante. Je crois devoir citer ici deux méthodes scientifiques des plus intéressantes dues à des savants éminents.

La première est celle de M. Phillips, membre de l'Institut, basée sur la théorie du spiral, et dont il doit entretenir le Congrès; la seconde est due à M. Mercadier, Directeur des études à l'École Polytechnique et repose sur la théorie des vibrations des plaques de Kinchoff.

Il me paraît impossible de terminer ces quelques observations sur l'élasticité, sans citer les séries d'expériences qui viennent ouvrir des horizons tout nouveaux sur le mode de travail des métaux, dans les conditions de la pratique.

## Expériences sur le mode de travail des métaux soumis d'une façon continue à des charges constantes supérieures à la charge limite de l'élasticité, mais inférieures à la charge de rupture.

Expériences de Vicat. — En 1834, M. Vicat publiait, dans les Annales des Ponts et Chaussées, les résultats d'une série d'expériences qu'il avait entreprises sur quatre échantillons de fils de fer recuit et non recuit, en les chargeant d'un poids égal au 1/4, 1/3, 1/2, 3/4 de la charge qui avait produit la rupture du même fil.

De ces expériences on pourrait déduire les conséquences suivantes :

1° Des charges inférieures à la limite d'élasticité produisent des allongements permanents, et, par suite, la définition de la charge limite d'élasticité, telle qu'elle était admise, était déjà reconnue fausse en 1834.

2° Des charges bien inférieures à la charge de rupture produisent des allongements permanents qui vont toujours en croissant, et pourraient probablement à la longue amener des accidents graves.

Expériences de M. Thurston. — Cet habile expérimentateur américain a fait des expériences sur le temps nécessaire pour rompre des fils de fer, lorsqu'ils sont soumis à des efforts permanents égaux à une fraction de la charge de rupture constatée par un essai ordinaire.

La fraction a varié de $\frac{95}{100}$ à $\frac{55}{100}$

Ces essais semblent prouver que, pour des charges supérieures à la limite d'élasticité, mais, très inférieures à la charge de rupture, le métal non seulement subit une déformation permanente, mais peut arriver à se rompre sous l'action persistante de cette force.

## Expériences sur le mode de travail du métal soumis à des efforts répétés dans la même sens ou en sens inverse un grand nombre de fois sous forme de tractions, flexions ou torsions.

Je termine en rappelant les magnifiques expériences de M. Wohler sur le travail des métaux. Ces recherches ont servi de base à des théories et formules nouvelles absolument contraires, du moins en apparence, à nos idées françaises sur l'élasticité.

Je transcris ci-dessous le résumé des essais de Wohler d'après M. Seyrig.

### Expériences de M. Wohler.

I. — Lorsqu'une pièce subit un certain nombre de fois des efforts provenant d'une charge alternativement appliquée et enlevée, ou bien diminuée seulement, la rupture se produit sous une moindre fatigue par unité de section, que lorsque la charge est appliquée doucement.

II. — Le nombre de répétitions de l'effort nécessaire à la rupture est d'autant plus grand que le coefficient de travail maximum est plus faible, le travail minimum restant le même.

III. — Le nombre de répétitions de l'effort nécessaire à la rupture est d'autant plus grand que le coefficient de travail minimum est plus grand, le travail maximum restant d'ailleurs le même.

IV. — Quand le travail maximum reste au-dessous d'une certaine limite, il n'y a jamais rupture, quel que soit le nombre de répétitions.

V. — Cette limite de non-rupture *a* est d'autant plus élevée que le travail minimum est plus grand.

Les expériences de Wohler introduisent donc dans le travail des métaux une question des plus importantes, celle de la répétition de l'effort et du sens dans lequel il agit.

---

## ESSAIS A LA COMPRESSION, A LA FLEXION, A LA TORSION

Si nous passions en revue les différents essais faits à ce sujet, nous aurions à formuler des observations absolument semblables, ou au moins analogues, à celles que nous avons été obligés de faire pour les essais à la traction.

Je crois donc inutile d'allonger ce travail.

## CONCLUSIONS ET VŒU.

*Nécessité d'introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essais des matériaux employés dans la mécanique, et de choisir des unités communes pour exprimer les différents résultats obtenus dans les essais sur les métaux.*

Les grands travaux publics entrepris par les ingénieurs depuis 50 ans ont donné un nouvel essort à l'étude de la résistance des matériaux.

Cette étude est, en effet, la seule voie rationnelle qui permette à l'ingénieur de marcher vers le progrès, de faire un choix dans les divers matériaux mis à sa disposition par la nature et l'industrie, d'étudier leurs propriétés avant d'établir ses projets, et de surveiller la réception des fournitures pour maintenir les conditions des cahiers des charges.

A mesure que les travaux atteignent des dimensions de plus en plus considérables, il est bien évident que les matériaux doivent satisfaire plus rigoureusement aux conditions de résistance indiquées par les lois de l'observation.

Les Gouvernements, les Compagnies de chemins de fer, les Constructeurs, ont donc introduit, dans les cahiers des charges, des conditions de réception plus rigoureuses, forçant ainsi les producteurs à baser leur fabrication sur des modes d'investigation méthodiques et suffisamment scientifiques.

Les difficultés qui se soulèvent quelquefois entre les producteurs et les consommateurs,à propos des matéraux employés dans les constructions, peuvent être des plus sérieuses et des plus importantes. Il s'agit, en effet, dans bien des cas, d'accidents ayant été cause de morts et de blessés et, par suite, se trouvent engagées de graves responsabilités correctionnelles, de lourdes responsabilités civiles.

Les intérêts du producteur et du consommateur sont donc ici les mêmes, et tous doivent désirer les progrès de cette partie de la science, qui comprend la recherche des propriétés physiques, chimiques et mécaniques des matériaux.

Il faut bien reconnaître aussi que, pour opérer la réception des produits nécessaires à la construction, on se trouve en présence de difficultés spéciales.

Presque toujours on ne peut essayer les pièces dans les conditions de travail qu'elles auront à supporter ; il faut donc imaginer des méthodes d'essais qui fassent reconnaître la qualité réclamée par la pratique, en soumettant les pièces à des efforts absolument différents de ceux qu'elles subiront une fois en service.

Il est nécessaire aussi que les essais exécutés sur un certain nombre de pièces, prélevées dans chaque livraison, permettent d'espérer que toute la fourniture jouira des propriétés mécaniques trouvées dans les expériences.

Pour les constructions métalliques, les essais les plus ordinaires opérés par la

pratique sont : les essais à la traction, à la compression, à la flexion, à la torsion, les essais aux chocs et au cisaillement.

Dans les essais à la traction, qui sont de beaucoup les plus répandus, nous avons vu, dans le commencement de ce rapport, que l'on cherche à mettre en évidence les principales qualités physiques et mécaniques du métal, son élasticité, sa résistance vive d'élasticité ou de rupture, indiquée pour la première fois par Poncelet ; puis sa résistance, son allongement et sa striction à la rupture.

Ces résultats varient pour le même métal avec :

La forme générale de l'éprouvette ;

La disposition relative du corps principal et des têtes ;

La section transversale et même les dimensions de cette section ;

La longueur sur laquelle on mesure les allongements ;

La lenteur ou la rapidité de l'expérience, c'est-à-dire la variation du temps pendant lequel on opère l'application des efforts successifs ;

Le mode d'attache de l'éprouvette ;

La direction de l'application de la force par rapport à l'axe de l'éprouvette ;

Le système de la machine d'essais.

Nous avons cherché à démontrer, dans ce rapport, que les connaissances exactes que nous possédons sur la théorie moléculaire des solides sont tellement restreintes, que, si dans deux séries d'expériences opérées avec le même métal, on change seulement un des éléments, la longueur utile de l'éprouvette, ou les dimensions de la section, etc., il est impossible de comparer les résultats avec certitude.

Les lois empiriques, que beaucoup d'ingénieurs ont recherchées, pour relier quelques-uns de ces éléments entre eux, ne donnent, d'après les renseignements que nous avons fournis dans cette étude, qu'une approximation par trop insuffisante, quand on veut les appliquer à des métaux de même espèce, mais de fabrication différente de ceux qui ont servi de base aux essais de ces savants chercheurs.

Nous avons même prouvé que la méthode généralement suivie, dans les essais à la traction, pour ramener la charge de rupture à la section primitive ou à la section de rupture de l'éprouvette, donne des résultats absolument erronés.

Enfin, nous avons, par quelques extraits seulement des principaux travaux sur l'élasticité, montré suffisamment que, pour cette question si grave et si importante en construction, les idées anciennes ne sont plus admissibles, et que les idées nouvelles n'ont pas encore reçu suffisamment la sanction de la pratique pour être universellement acceptées.

Les difficultés que nous venons d'exposer, pour les expériences à la traction, se présentent pour toutes les autres espèces d'essais ; il en résulte que ces admirables séries d'expériences faites en Angleterre, en Suisse, en Russie, aux États-

Unis, en Autriche, en Allemagne et en France, ne sont pas comparables, et que cette somme immense de patience et de travail est, en majeure partie, perdue pour l'avancement de la science et les perfectionnements de la construction.

Un point capital, qui rend aussi très pénible la consultation des travaux étrangers, consiste dans ce fait que chaque pays n'a pas adopté les mêmes unités pour exprimer les résultats. Un ingénieur anglais, par exemple, qui veut se rendre compte des magnifiques travaux entrepris par les usines françaises du Creusot, Terre-Noire, Châtillon et Commentry, Saint-Étienne, etc., pour la classification des aciers, doit se livrer à la transformation des unités françaises en unités anglaises, travail des plus longs, des plus pénibles et des moins intéressants.

On peut dire que le choix des *Unités internationales* aurait, sur l'avenir de la métallurgie, une aussi grande influence que le choix des unités électriques, au Congrès international de 1881, en a eu sur les progrès et la vulgarisation des travaux sur l'électricité.

Il apparaît donc, comme une nécessité de premier ordre, de réunir un *Congrès international* ayant pour mission de fixer, au point de vue de la résistance des matériaux, les unités de mesures, les dimensions et formes à prescrire pour les éprouvettes ou les différents échantillons, suivant le genre de l'essai, la discussion au moins, sinon l'adoption, des principes de machines à essayer, la détermination de règles précises pour les détails des différents essais.

En France déjà, lors de l'Exposition universelle de 1878, à la session de l'Institut du fer et de l'acier, la question avait été soulevée incidemment, et nos principaux métallurgistes, MM. Tresca, Jordan, Barba, Marché, Euverte, Gautier, etc., réclamèrent ce congrès international.

La Société des Ingénieurs civils de Paris, dans plusieurs de ses séances, a approuvé les conclusions de nombreux travaux proposant une entente générale pour que les essais de résistance deviennent immédiatement comparables.

L'Institut du fer et de l'acier, dans sa session de 1882, à Vienne, a repris cette question : MM. Snelus, Wedding, Isaac Lowthian Bell, déclarent qu'il est de première importance d'arriver à la réunion d'une Commission internationale.

Différents États ont déjà reconnu officiellement ou officieusement des laboratoires d'essais pour chercher précisément à établir, au moins dans leur pays, une uniformité indispensable.

En France, le laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers, sous l'habile direction du général Morin, de M. Tresca et du colonel Laussedat, a rendu d'éminents services à l'industrie.

Le Président des États-Unis, par différentes décisions, prises en 1875 et 1876, a institué le *Bureau des Essais des États-Unis* pour le fer, l'acier, etc.

La Russie a deux laboratoires gouvernementaux, celui de Saint-Pétersbourg et celui de Moscou.

En Prusse, la loi du 23 janvier 1880 règle la constitution définitive des Instituts d'essais, dont celui de Berlin est le modèle; Munich a aussi une installation analogue.

La Belgique possède le laboratoire et les ateliers d'essais de Malines.

Dès 1875, l'Association des Ingénieurs et Architectes autrichiens demandait, au Ministre du commerce, la création d'un laboratoire d'essais, destiné à assurer une uniformité dnas les expériences, absolument nécessaire à la théorie et à la pratique.

La Suisse, dans le même but, a installé à Zurich un laboratoire fédéral pour les épreuves dynamiques.

Dans le Congrès de 1887, l'Union des Chemins de fer allemands déclare : « qu'une Commission spéciale vient de publier un projet de règlement pour « assurer l'uniformité des essais de résistance des divers matériaux de con- « struction. »

En 1884, sous l'inspiration, je crois, du savant professeur de Munich, M. J. Bauschinger, se réunissaient à Munich un grand nombre de savants, de professeurs, d'ingénieurs, de constructeurs principalement d'Allemagne, d'Autriche et de Suisse, dans le but : *d'établir des règles fixes pour les Méthodes à suivre en essayant les matériaux de construction dont on veut connaître les qualités mécaniques.*

Une nouvelle conférence a été tenue à Dresde, en 1886, et une Commission de rédaction a publié tous les documents recueillis sur les différentes questions soulevées dans ces réunions.

En 1888, une troisième conférence devait se réunir à Berlin.

Je serais heureux, Messieurs, si j'étais parvenu, par ce modeste travail, à vous démontrer, d'abord la nécessité d'un Congrès international pour établir l'uniformité des essais de résistance des matériaux, et, ensuite, combien cette réunion est désirée par les Sociétés scientifiques les plus autorisées, par les hommes les plus compétents de tous les pays.

Je ne puis terminer, sans vous rappeler, Messieurs, que la science de la résistance des matériaux a été créée par des savants français, les Navier, Poncelet, Morin, Tresca et Wertheim, et, qu'à ce titre, il est tout naturel que notre pays prenne l'initiative d'un Congrès international, qui seul peut permettre d'espérer voir la théorie mécanique moléculaire sortir de l'obscurité et des ténèbres qui l'entourent encore.

## VŒU.

J'ai donc l'honneur de vous prier d'émettre le vœu suivant :

« Les Membres du Congrès de mécanique appliquée, après en avoir délibéré, « émettent le vœu que le Gouvernement français prenne, auprès des Gouverne-

« ments étrangers, l'initiative de la réunion d'une commission internationale,
« ayant pour mission de choisir les unités communes destinées à exprimer les
« différents résultats des essais de matériaux, et d'introduire une certaine unifor-
« mité dans les méthodes d'essais. »

Ce vœu est adopté à l'unanimité.

## LABORATOIRES DE MÉCANIQUE APPLIQUÉE.

L'étude de toutes les sciences comporte un enseignement théorique et un enseignement pratique; une seule faisait exception jusque dans ces dernières années, la mécanique appliquée.

La mécanique a devant elle un champ d'études et de découvertes absolument illimité, aucune branche des sciences n'a peut-être rendu plus de services à l'humanité, et pourtant il semble qu'il n'y ait pas besoin pour cette science d'étudier les machines elles-mêmes, d'apprendre aux ingénieurs à expérimenter, à rechercher la vérification des théories générales apprises dans les cours, à contrôler les résultats plus où moins fantastiques avancés par certains inventeurs qui se laissent si facilement éblouir.

On oublie trop que le caractère et l'intelligence de l'Ingénieur ne peut se développer que dans un laboratoire de recherches; il ne suffit pas d'avoir l'esprit rempli, d'une façon plus ou moins indigeste, par des théories brillantes pour être un véritable ingénieur-mécanicien, il faut aussi savoir rechercher dans quelles limites ces théories sont applicables à la pratique, trouver les causes des différences, apercevoir les progrès pour l'avenir, posséder, en un mot, cet esprit de recherches qui seul peut développer l'initiative et l'activité industrielle. Tel est le vrai but de l'ingénieur-mécanicien.

Un laboratoire de mécanique appliquée est donc tout aussi obligatoire pour les ingénieurs, que les laboratoires de physique et de chimie, pour les physiciens et les chimistes, l'amphithéâtre pour les médecins, etc..., « c'est là, dit avec raison
« Kennedy, qu'il acquiert ce scepticisme salutaire à l'égard des généralisations
« dépourvues de critique et des affirmations dépourvues de contrôle. »

Je sais bien qu'un certain nombre de théories que l'on donne très régulièrement dans les cours dits d'application, ne résisteraient pas à ces investigations des élèves. Les fameuses théories de la machine à vapeur, les lois du frottement, les formules pour l'écoulement des vapeurs dans les conduites, un grand nombre de formules sur la résistance des matériaux, etc..., seraient dans ce cas, mais ne faut-il pas mieux que le jeune ingénieur sache justement qu'il ne doit accorder qu'une confiance limitée à telle ou telle partie de la science, que de s'imaginer que tout est su, connu, prouvé, et que, si la pratique lui donne, dans les premières

applications qu'il fera de ces théories, des résultats absolument contradictoires à ceux soi disant prévus par la théorie, c'est la faute de la pratique.

Un véritable ingénieur doit d'abord posséder une science théorique aussi étendue que possible, mais il doit aussi, avant de se lancer dans la pratique industrielle de tous les jours, appliquer les procédés d'investigations que ses professeurs lui ont fait connaître, où pourra-t-il le faire, s'il n'a pas à sa disposition un laboratoire très complet?

M. Kennedy avait donc parfaitement raison quand il disait à ses élèves :

« Il semble reconnu dès maintenant, qu'un laboratoire de mécanique est une « *partie essentielle* de toute institution qui a la *prétention* de former des in- « génieurs. »

M. Dwelshauvers-Dery, le savant professeur de l'Université de Liège, me paraît être le premier qui demanda à son Gouvernement, le 28 mai 1870 : « de « créer à Liège un laboratoire d'expériences mécaniques, une école d'expérimen- « tateurs au sein de l'école de théorie. »

Ami personnel de Hirn, Dwelshauvers n'avait pas hésité à aller travailler avec ui, pour étudier les méthodes alsaciennes d'essais des moteurs à vapeur ; il confia à Hirn ses idées sur la nécessité des laboratoires de mécanique appliquée, et Hirn s'exprimait ainsi dans un rapport de 1875 à la Société Industrielle de Mulhouse :

« Dwelshauvers-Dery avait conçu une idée grande et utile : celle de fonder « auprès de l'université où il professe, un laboratoire de physique et de méca- « nique industrielles, où les jeunes gens pussent étudier en grand et sur le vif, et « produire déjà ainsi des résultats utiles tout en étudiant. »

Ces laboratoires, pour être réellement utiles, doivent comprendre les machines nécessaires à l'étude de la résistance et de l'élasticité des métaux, ou autres matériaux de construction, des machines à vapeur, à gaz, à air chaud, des chaudières à vapeur et tous les instruments nécessaires aux essais calorimétriques ; des appareils pour mesurer les frottements, le travail des courroies, des câbles..... pour étudier les lois des mouvements des fluides dans les tuyaux ou conduits, pour les recherches du pouvoir calorifique des combustibles, etc. ; enfin tous les dynamomètres permettant l'étude des forces et du travail nécessaires aux différentes machines de l'industrie, etc.

On voit qu'il ne faut pas confondre ces laboratoires avec ceux que possèdent quelques établissements en France, soit pour faciliter les études et les recherches personnelles des professeurs, comme celui du Conservatoire qui existait du vivant de M. Tresca, ou pour obtenir les renseignements spéciaux nécessaires à certaines industries, comme les laboratoires de nos grandes Compagnies de chemins de fer, des arsenaux de l'Artillerie et de la Marine, du Creusot, Denain, Saint-Étienne,etc.

Peu de temps après la démarche de M. Dwelshauvers-Dery, en 1871, M. Bauschinger érigea un laboratoire de mécanique appliquée à Munich ; dans la même année, le Gouvernement allemand en ouvrit un à Berlin. Ces deux laboratoires étaient surtout organisés au point de vue de l'étendue de la résistance des matériaux. Ce fut seulement en 1876 que M. Linde installa à Munich un laboratoire d'essais pour les machines.

Voici du reste, quel était en 1888, l'état des divers laboratoires de mécanique appliquée dans les différents pays, avec leur date d'ouverture. Tous ces établissements sont annexés à des écoles techniques :

1843. — Paris. — École des ponts et chaussées. — Essais des matériaux de construction, excepté les métaux.

1871. — Munich. — Essais des métaux et des matériaux de construction.

1871-1880. — Berlin. — Essais des métaux et des matériaux de construction. — Essais des huiles. — Essais des papiers. — Laboratoire photographique et microscopique.

1876. — Munich. — Essais des machines.

1877. — Prague. — Essais des métaux et des matériaux de construction.

1877. — Zurich. — Essais des métaux et des matériaux de construction.

1878. — Londres. — University Collège, professeur Kennedy. — Essais des métaux et des matériaux de construction. — Essais calorimétriques. — Essais dynamométriques. — Essais des frottements. — — Laboratoire photographique.

1879. — Worcester (E.-U.). — Essais des métaux. — Essais dynanométriques.

1880. — Liège. — Machine à vapeur et chaudière pour expériences.

1880. — Chemnitz. — Essais des métaux et des matériaux de construction.

1882. — Birmingham. — Essais des matériaux, machine à vapeur et chaudière pour expériences. — Appareil pour mesurer les résistances des outils tranchants. — Frottement.

1882. — Buda-Pesth. — Essais des métaux et des matériaux de construction. — Essais dynamométriques.

1883. — Cooper's Hill. — Essais des métaux, ciments. — Essais des huiles, machine à vapeur et à gaz.

1883. — Bristol. — Essais des métaux. — Essais des huiles. — Essais des ressorts, flexion des poutres. — Machine à gaz.

1883. — Boston (E.-U.). — Essais des métaux et des matériaux de construction. — Essais calorimétriques. — Essais des courroies. — Essais dynamométriques.

1883. — Minnéapolis (E.-U.). — Essais des métaux et des matériaux de construction. — Essais dynamométriques.

1884. — Londres. — Professeur Unwin. — Essais des métaux, ciments. — Essais calorimétriques. — Expériences d'hydraulique. — Laboratoire photographique.

1884. — Stuttgard. — Essais des métaux et des matériaux de construction.

1884. — Sydney. — Essais des métaux.

1886. — Leeds. — Essais des métaux. — Essais calorimétriques. — Expériences de mécanique générale. — Laboratoire photographique.

1888. — Ithaca (E.-U.). — Essais des métaux et des matériaux de construction, des huiles. — Essais dynamométriques. — Expériences sur l'écoulement de l'eau.

Enfin, on était en train d'installer aux États-Unis des laboratoires de mécanique : à Cambridge (Massachussets) — à New-Haven (Connecticut) — à Saint-Louis — à New-York et à Victoria, pour l'Université de Melbourne, en Australie.

Il existe encore un grand nombre de laboratoires qui sont rattachés à des écoles supérieures, mais dont il est difficile d'indiquer la date de création.

Paris. — *Conservatoire des Arts et Métiers.* — Le laboratoire où M. Tresca a fait ses magnifiques expériences sur l'écoulement des solides, l'élasticité, les machines à air et à gaz, a disparu depuis sa mort.

Dresde. — Laboratoire de technologie, relatif aux industries textiles et du papier, du Dr Hartig.

Vienne. — Essais des métaux et étude de leur déformation.

Saint-Pétersbourg. — Le professeur Sobko avait, dès 1853, installé une machine à essayer les bois et les pierres. En 1877, on installa une machine à essayer les métaux.

Stockholm. — On était en train d'installer un laboratoire pour l'École Polytechnique de cette ville.

Hoboken. — (E.-U.). — Ce laboratoire fut établi en 1876, dans un but commercial, mais plus tard il servit aussi à l'enseignement.

Une question importante a été soulevée au point de vue de la création de ces laboratoires : doivent-ils être fondés par les administrations gouvernementales ou par l'initiative privée ?

Il est évidemment très désirable que toutes les écoles techniques supérieures fondent un laboratoire de mécanique appliquée; dans les pays où ces écoles relèvent directement du Gouvernement, il me paraît difficile de trouver mauvais que l'Administrations établissent ces laboratoires.

Mais là, à mon avis, devrait se résumer l'intervention des Administrations dans cette question, et, pour ma part, j'aimerais beaucoup mieux que ce soit l'initiative privée qui prit en mains cette question si grave pour l'avenir de l'industrie! Du reste, comparant les résultats obtenus en Angleterre et aux États-Unis par l'initiative privée, et les difficultés sans nombre qu'a dû vaincre un de nos collègues, qui a mis dix-neuf ans pour convaincre son Gouvernement de l'utilité de cette création, et la question me paraîtra absolument jugée.

## VŒU

J'ai donc l'honneur de vous proposer d'émettre le vœu suivant :

« Il y a lieu de signaler aux ingénieurs, aux industriels et à toutes les per-
« sonnes intéressées au développement de la mécanique, la nécessité de créer
« des laboratoires de mécanique appliquée, comme annexes aux écoles techni-
« ques supérieures. »

# SUR l'UNIFICATION des MÉTHODES d'ESSAIS

DES

# MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

PAR

M. MICHEL SVILOKOSSITCH

Double but des essais des matériaux de construction.—Produits utilisés à l'état naturel; rappel des travaux récents sur la résistance des pierres, ciments, bois, etc. — Produits métallurgiques. — Nécessité d'une nomenclature uniforme des métaux ferreux.—Définition des fers et aciers au moyen de leurs propriétés résistantes et par la faculté de prendre ou non la trempe ; antagonisme qui existe entre producteurs et consommateurs. — Mesure de la ténacité de ses produits ferreux; propositions de Kirkaldy, Wœhler, Tetmajer, etc. — Impossibilité d'arriver à définir la ténacité sans un accord préalable entre les intéressés, et autant que possible international. — (Digression sur le point de vue auquel se sont placés récemment les métallurgistes allemands et conséquences regrettables qui en découlent).—Points de vue théoriques : détermination de la limite d'élasticité ; résistance aux efforts répétés un grand nombre de fois ; élasticité remanente ; loi des résistances proportionnelles énoncée par Vicat, confirmée et mieux formulée par Kick. — Vaste champ d'expérience qui reste encore à parcourir.

Dans les conditions d'essais actuels il est impossible de posséder des résultats comparables. — Influences nombreuses d'où dépend l'exactitude d'une série d'expériences. — L'essai à l'extension pris comme type. — Les essais aux chocs méritent une plus grande attention que par le passé.

Laboratoires d'essais : Etablissements scientifiques et stations industrielles. — Faut-il attendre la création des premiers de l'initiative privée ? — Organisation à l'étranger des laboratoires officiels.

On fait des essais des matériaux de construction dans un double but : 1° pour s'assurer qu'une matière donnée est capable de résister aux efforts qui lui seront

appliqués en service ; et 2° pour se rendre compte de la meilleure utilisation d'un produit employé soit à l'état naturel, soit après avoir été modifié artificiellement. Nous n'envisageons pas les essais qui rentrent dans la catégorie des expériences scientifiques et qui sont destinés à éclaircir quelque point encore obscur de la théorie de l'élasticité.

La grande classe des produits employés à l'état naturel (pierres, bois, etc.) n'ont pas été l'objet d'un nombre assez considérable de recherches expérimentales depuis quelques années, pour que nous ayons à nous en occuper ici. On peut dire, en effet, que les méthodes, en usage du temps de Rondelet et de ses continuateurs immédiats pour l'essai des pierres, suffisent presque aux besoins techniques de nos jours. Toutefois, les percements des grands tunnels dans les roches compactes ont conduit les ingénieurs à étudier les roches suivant leur résistance au forage, et cette méthode d'essais, indiquée dans ses traits essentiels par Coquilhât en 1851, paraît de nature à fournir des renseignements très utiles. Sans nous étendre davantage sur cette méthode, nous rappelerons qu'elle est basée sur la détermination du travail qui est nécessaire pour le forage de l'unité de volume d'une pierre donnée.

En ce qui concerne les bois, on a fait, dans ces dernières années, des essais dans le but d'étudier la résistance à la compression longitudinale, recherches qui, dans leur ensemble, n'ont fait que confirmer les règles jusqu'ici admises.

Quant aux matériaux de construction qui occupent une place intermédiaire entre ceux qu'on emploie à l'état naturel et ceux qui subissent des manipulations mécaniques ou des transformations chimiques, l'étude des procédés d'essais et de fabrication de ces matériaux, ayant fait partie du programme d'un autre Congrès, nous croyons devoir nous abstenir d'en parler, et nous passerons immédiatement aux produits des usines métallurgiques, et notamment au fer et à l'acier.

Dès que l'on aborde l'étude des propriétés résistantes de ces produits, une question préjudicielle doit être résolue. C'est la question concernant la classification du fer et de l'acier.

Une grande confusion règne en effet sur les dénominations servant à distinguer les fers des aciers. Certains métallurgistes considèrent tout produit métallurgique comme étant du fer s'il est obtenu par le procédé de soudure ou de mise en paquets, et donnent le nom de l'acier aux produits obtenus par la voie de fusion. C'est ainsi que l'on parle couramment de l'acier Bessemer, Martin-Siemens, etc., sans se demander si certains des produits ainsi dénommés ne rentrent pas plutôt dans la catégorie du fer, vu leur incapacité de prendre la trempe. D'autres métallurgistes estiment que la qualité de prendre la trempe est seule caractéristique des aciers, et désignent le fer peu carburé qui se rapproche le plus de l'acier par le nom de « fer fondu » (acier doux), expression qui peut prêter à la confusion, tout au moins en français.

Mais, quelle que soit la valeur de toutes ces définitions, on ne peut pas s'empêcher de regretter une discordance qui, bien souvent, n'est due qu'à des considérations absolument étrangères à la Science de l'ingénieur. Et, sans préjuger les décisions de l'avenir, il nous semble que la classification établie par les métallurgistes réunis au Congrès de Philadelphie, en 1876, constitue un pas en avant dans la voie qui conduira à la solution de cette question épineuse.

Indépendamment du procédé métallurgique qui sert à la fabrication d'un composé ferreux et de la teneur en carbone de celui-ci, on peut, pour les usages purement mécaniques, établir une classification basée sur les propriétés résistantes et sur les qualités élastiques des fers et des aciers. Les premières peuvent toujours être évaluées au moyen de la charge de rupture à l'extension ou à la flexion, selon le mode d'emploi de la pièce, ainsi que de la limite d'élasticité pour les matières qui la possèdent. Quant à la définition des qualités élastiques ou, plus exactement, de la ténacité d'un composé ferreux, on sait que les expérimentateurs sont loin d'être d'accord sur ce sujet. Les uns veulent, à la suite de Kirkaldy, définir la ténacité au moyen de la contraction d'une barre d'essai en pour cent de sa section primitive et au moment de la rupture par extension ; d'autres se contentent de prendre pour base de cette détermination l'allongement que présente la barrette par rapport à sa longueur primitive. D'autres encore déterminent la ténacité au moyen d'essais aux chocs.

Nous rencontrons là déjà une manifestation de l'antagonisme qui existe nécessairement entre les producteurs et les consommateurs du fer et de l'acier. Au point de vue où se placent les premiers, vouloir exiger un certain pour cent de contraction de la barrette, c'est autoriser les agents réceptionnaires à rebuter souvent des échantillons qui, tout en étant utilisables, présentent cependant quelque défaut local (pailles, gerçures, etc.) dû aux manipulations mécaniques ou, pour les matières homogènes, à celles-ci aussi bien qu'au retrait du métal en fusion pendant son refroidissement.

D'autre part, les consommateurs veulent bien se contenter d'un minimum d'allongement pourvu qu'il ne soit pas obtenu aux dépens de la ténacité de la matière, qui est certainement mieux définie par la faculté qu'elle possède de pouvoir se contracter sous une charge donnée que par celle de pouvoir s'allonger.

Cependant les réclamations des métallurgistes tendant à l'abandon, dans les cahiers des charges, de la clause exigeant un certain pour cent de contraction ne sont pas restées sans écho, et on leur doit le revirement qui s'est produit en faveur des producteurs, même dans les pays, comme l'Allemagne par exemple, où il était de règle, lors de la réception de matériel de chemins de fer, d'exiger de chaque barrette d'essai un certain nombre de qualité représenté par la somme de la charge de rupture en kilogramme par millimètre carré et de la contraction en pour cent de la section primitive. Pour donner satisfaction aux réclamations dont il s'agit, le ministre des travaux publics de Prusse a institué il y a quel-

ques années une Commission composée de représentants de tous les intéressés dans la question à l'effet d'étudier les modifications à introduire dans les cahiers des charges pour la réception de matériel de chemins de fer.

Cette Commission a conclu récemment dans le sens favorable aux métallurgistes, en recommandant de ne tenir compte à l'avenir que de la charge de rupture déterminant la résistance d'une matière, tantôt à l'extension (pour rails et essieux) et tantôt à la flexion (pour traverses métalliques, éclisses, etc), la ténacité devant être constatée au moyen d'essais aux chocs.

On peut regretter cette décision à plus d'un point de vue. Nous estimons que les essais aux chocs sont indispensables dans beaucoup de cas, et il en sera question plus loin. Mais supprimer complètement l'indication de l'un des éléments considérés jusqu'ici comme très important (allongement de rupture ou contraction), même dans les essais de matériel de chemin de fer où les chocs jouent certainement un rôle prépondérant, nous semble très illogique. On aurait pu, pour être conséquent, supprimer entièrement les essais à l'extension ou à la flexion, dans le cas des bandages par exemple, et se contenter uniquement des essais aux chocs, puisque c'est sous l'influence des chocs que la plupart des bandages sont rompus en service.

Ce manque de conséquence est d'autant plus évident que les métallurgistes allemands ont accepté les propositions de l'Association des Sociétés des ingénieurs et des architectes d'Allemagne relatives aux essais du fer et de l'acier rentrant dans la construction des ponts et charpentes. Dans ce cas on exigera, à l'avenir comme par le passé, toujours un minimum d'allongement, ainsi que cela se fait en France et dans la plupart des pays.

Il est évident, d'après ce qui précède, que la mesure de la ténacité des métaux ferreux manque encore d'une base scientifique. Pour concilier les deux intérêts contraires en présence ainsi que pour combler une lacune de la résistance des matériaux, plusieurs savants ont proposé des formules au moyen desquelles on pourrait définir la ténacité des matières. C'est ainsi qu'un savant expérimentateur connu M. Tetmajer, directeur du laboratoire d'essais de Zurich, a proposé de prendre pour mesure de la ténacité d'une matière sa capacité de travail exprimée par la formule suivante :

$$x = \eta \frac{T}{lS},$$

dans laquelle T est le produit de la charge de rupture par l'allongement sur 100 millimètres, $l$ la longueur primitive et S la section primitive de la barre d'essais, $\eta$ un coefficient numérique supposé constant pour la même matière. Cette proposition est adoptée en principe par la Société des ingénieurs et des architectes suisses et semble être prise pour base d'une classification officielle des produits ferreux employés en Suisse.

Mais quoique théoriquement rationnelle, puisqu'elle est basée sur la considé-

ration du travail effectué pendant la rupture de la pièce au moyen d'un effort de traction, cette formule présente un grave défaut. Elle fait entrer dans la détermination de la qualité d'un produit métallurgique un coefficient variant nécessairement avec les progrès de l'industrie et elle suppose, en outre, un accord préalable entre les producteurs et les consommateurs, accord qui n'est pas toujours aisé à réaliser.

Les considérations précédentes sont de nature essentiellement pratiques. La théorie pourtant exige que l'on tienne compte de l'élasticité d'une matière, puisque les formules de la résistance des matériaux ne sont, pour la plupart, valables que tant que l'élasticité de la matière n'est pas altérée. Il est donc de toute nécessité qu'on soit fixé sur la mesure de l'élasticité. Dans la plupart des traités des matériaux de construction, on enseigne que la mesure de l'élasticité d'une matière est donnée par la charge correspondant à la limite d'élasticité. Or le plus souvent il est assez difficile de déterminer cette limite. Elle varie quelquefois avec les expérimentateurs et avec la plus ou moins grande exactitude de leurs appareils de mesure des déformations.

Pour certaines matières, elle n'existe même pas, ou tout au moins ce qu'on désigne par la limite d'élasticité des matières cassantes, n'est qu'une limite des erreurs dans l'enregistrement des déformations permanentes. Certaines matières ductiles admettent une limite d'élasticité inférieure et une limite d'élasticité supérieure. En outre la forme de la section des barrettes d'essai peut également influer sur la fixation de cette limite, puisque plusieurs expérimentateurs l'ont trouvée plus grande pour des barrettes de section ronde que pour des barrettes de section carrée.

Lorsqu'il s'agit de métaux ductiles, on peut, il est vrai, définir la limite d'élasticité comme une limite de proportionnalité entre les efforts et les déformations, sans que cependant cette limite puisse être acceptée comme invariable [1].

Nous n'avons envisagé jusqu'ici que les charges appliquées une seule fois. Mais pour l'étude complète de la résistance des matériaux, il est indispensable de connaître également la manière dont ils se comportent sous l'influence des efforts de même sens ou de sens contraire répétés un certain nombre de fois.

Or, malgré les belles expériences de Fairbairn, Wœhler, Bauschinger, Considère et autres, un grand nombre de problèmes qui se rattachent à cette question attendent encore leur solution définitive. On a fait, il est vrai, une objection qui peut paraître judicieuse, aux conclusions tirées des résultats d'essais des pièces soumises à des charges répétées un grand nombre de fois, en disant que la ma-

1. Dans une remarquable discussion qui a eu lieu en 1881 devant la Société des Ingénieurs civils, on s'est beaucoup occupé du rapport entre la limite d'élasticité et le coefficient du travail de l'acier; on y a notamment mis en évidence ce fait que les essais les plus minutieux fournissent la limite d'élasticité la plus basse.

tière est beaucoup plus fatiguée sous l'influence d'une charge permanente que sous celle des charges de même sens appliquées et enlevées successivement.

Pour appuyer ce raisonnement on s'est autorisé d'une propriété de la matière, encore bien peu étudiée, et que l'on a appelée l'*élasticité remanente.* Il nous semble encore trop prématuré pour conclure dans un sens plutôt que dans l'autre ; toutefois si le raisonnement dont il s'agit a quelque valeur, il est très rassurant au point de vue de la stabilité de la plupart des constructions métalliques.

Quant aux efforts de sens contraires, on ne peut pas mettre en doute qu'une bielle ou manivelle, tantôt tendue, tantôt comprimée, est beaucoup plus fatiguée qu'un organe de machine sollicité toujours dans le même sens. D'ailleurs les praticiens savent depuis longtemps ce qu'il faut tenir des coefficients de sécurité, lorsqu'il s'agit de calculer les dimensions des organes de machines animés d'un mouvement de va-et-vient.

Enfin pour ne pas passer sous silence des recherches assez importantes, nous mentionnerons la nécessité de vérifier la loi des résistances proportionnelles énoncée par Vicat et formulée depuis avec plus de précision par M. Kick.

Il nous semble résulter de l'exposé rapide des quelques problèmes intéressant la résistance des matériaux que l'étude de certaines des qualités résistantes des matériaux de construction est encore à faire, et que, de plus, cette étude ne pourra donner de bonnes indications qu'autant que nos méthodes d'essais puissent fournir des résultats comparables.

Il est donc intéressant de connaître les circonstances qui influent sur l'exactitude d'un essai de résistance. Nous allons les rappeler brièvement.

En faisant abstraction de l'habileté de l'expérimentateur et de la bonne construction des machines d'essais, on peut indiquer les points suivants à observer pour qu'un essai puisse donner des résultats utilisables :

1° *Longueur de la barette d'essai.* — On doit, autant que possible, donner aux barrettes d'essais, qui portent sur des matières semblables de forme et de fabrication, une longueur uniforme. Il nous suffit de renvoyer au beau mémoire présenté par M. Barba (les travaux de M. Barba ont été la confirmation des expériences de MM. Marché, Marié et plusieurs autres expérimentateurs) à la Société des Ingénieurs civils en 1880, pour n'avoir pas à insister sur ce point. Cette condition primordiale ne se trouve pourtant pas indiquée dans les cahiers des charges de nos grandes Compagnies de chemins de fer par exemple. C'est ainsi que le cahier des charges de la Compagnie du Nord, un des mieux rédigés que nous ayons pu consulter, porte que, pour les tôles et les fers de forge de section prismatique, la longueur des barrettes doit être de 200 millimètres, tandis qu'elle est pour les fers de forge de section circulaire 8 fois le diamètre de la section et qu'elle n'est pour les échantillons d'acier que de 100 millimètres.

En suivant ces prescriptions, il serait par exemple très difficile de compa-

rer la résistance d'une tôle en fer soudé et d'une tôle en acier, car même en appliquant la proposition suivant laquelle les allongements sont proportionnels aux longueurs des barrettes, on ne pourrait pas, pour toutes les sections qui sont nécessairement variables, obtenir des résultats comparables. Et cependant, ainsi que l'a écrit M. Le Basteur en 1878 (1) « si l'on ne finit pas par s'entendre sur ce point important, tous les efforts accumulés pour caractériser et classer les métaux ferreux au moyen de leurs éléments de résistance à la traction seront frappés de stérilité. »

2° Nous venons de dire que la *section des barrettes d'essai* ne peut pas être rendue uniforme. Il est bon, pour chaque espèce de métal essayé, de déterminer au préalable le meilleur rapport entre la plus petite dimension de la section transversale et la longueur des barrettes. Dans le cas de tôles minces on est limité par leur épaisseur et on ne peut que varier la largeur des barrettes. Mais il est indispensable, dans tous les cas, d'indiquer dans les tableaux donnant les résultats des essais les sections des barrettes essayées.

3° La *préparation des barrettes d'essai* doit être entourée de précautions spéciales. Autrefois on se contentait de les découper grossièrement, quelquefois au marteau, où cela était praticable. Aujourd'hui l'habitude se répand de plus en plus de les découper à l'aide de machines-outils. Lorsqu'il s'agit des fers en T, I, U etc., il est à recommander de ne jamais découper les barrettes dans les âmes et de laisser toujours subsister sur les fers laminés, la couche extérieure due au laminage.

4° La manière dont les *barrettes sont maintenues* dans les machines d'essais varie beaucoup suivant les cas. Pour les tôles et les barrettes plates en général, le seul mode rationnel de fixation consiste à élargir les barrettes vers les deux extrémités et à percer à chaque bout un trou dans lequel on introduit le boulon de fixation. Pour les barrettes rondes on peut se servir soit de coins, soit de têtes taraudées (ce dernier mode est adopté par les Conférences de Munich et de Dresde pour l'Unification des méthodes d'essais). Mais dans tous les cas il faut que l'effort appliqué agisse suivant l'axe géométrique de la barrette. Cette fixation est rendue assez facile en donnant aux extrémités la forme demi-sphérique. Lorsqu'on omet d'observer cette précaution, la moindre excentricité de l'effort peut produire un moment de flexion qui vicie complètement le résultat de l'essai, et on peut certainement attribuer à ce fait la plupart des discordances que l'on trouve parfois dans les résultats d'essais faits par les mêmes expérimentateurs.

Il nous resterait encore à énumérer certaines circonstances secondaires dont il faut tenir compte lors des essais des matériaux de construction. C'est ainsi que la question de la durée de l'expérience (2) et de la température à laquelle elle se

1. *Les métaux à l'Exposition universelle de 1878*. Paris 1878, p. 30.
2. Les travaux récents de M. Connert ont attiré l'attention sur ce sujet.

fait a préoccupé quelques expérimentateurs. Nous ne croyons pas devoir insister là-dessus et nous passerons également sous silence les différents essais de pliage, de trempe, de poinçonnage, etc., qui varient souvent et rendent plus difficile la comparaison des résultats d'essais. Ils supposent en outre des ouvriers très habiles dont le nombre diminue de plus en plus. Les essais aux chocs nous semblent mériter qu'on s'y arrête davantage.

Dans le pays producteur du fer par excellence, en Suède, le bureau métallurgique officiel et renommé, le « Jernkontoret », prescrit des essais aux chocs dans la plupart des cas où nous croyons pouvoir nous en dispenser. En France d'ailleurs ainsi que dans d'autres pays, on exécute des essais aux chocs pour éprouver les pièces et les organes de machines qui seront soumis aux chocs pendant le service. Ce qui a diminué la valeur de ces essais aux yeux de certains théoriciens, c'est la manière encore primitive dont on exécute ces essais dans la plupart des laboratoires. Il nous semble cependant que l'abandon de ces essais dans le cas de réception des poutres entrant dans la construction des ponts n'est pas justifié, surtout si, comme cela paraît probable, on donne une plus grande extension à l'acier dans la construction des ponts et charpentes.

En citant l'organisation officielle de Suède pour les essais des produits métallurgiques, et sans nous attarder à rappeler les études nombreuses qui ont été faites dans ce laboratoire, nous croyons ne pas sortir de notre sujet en jetant un coup d'œil sur les établissements similaires de quelques pays étrangers (1).

Quelle que soit l'opinion qu'on peut avoir sur les mérites de l'initiative privée, en fait d'organisation des bureaux d'essais, il est admissible que leur fonctionnement peut légitimement relever du contrôle des pouvoirs publics. Outre les grandes dépenses que leur installation exige, ces laboratoires peuvent rendre de très grands services dans le cas litigieux qui se produisent si souvent dans tout pays à grande industrie métallurgique. Mais outre le point de vue purement utilitaire, on peut envisager l'existence de ces laboratoires également au point de vue des recherches scientifiques désintéressées et pour lesquelles les ressources d'une organisation privée sont souvent insuffisantes.

C'est ainsi que, dans beaucoup de pays, on a créé des laboratoires d'essais pour la Marine, l'Artillerie, les chemins de fer et à côté on a fondé de véritables « Instituts » d'expériences, rattachées soit aux écoles techniques supérieures soit jouissant d'une organisation entièrement indépendante.

En Angleterre il existe un grand nombre de ces laboratoires d'enseignement, tous subventionnés par des Universités, ou par des corporations commerciales et

1. Si dans ce qui va suivre il n'est question que des laboratoires d'essais relevant plus ou moins des institutions publiques, il convient cependant de citer en première ligne celui de M. David Kirkaldy, établi depuis 25 ans à Londres, et dont les travaux sont trop favorablement connus pour que nous ayons besoin d'en vanter l'organisation. Dans le même ordre d'idées nous mentionnerons le laboratoire fondé par M. Thomasset à Paris.

industrielles [1]. En Suisse, on peut citer le laboratoire d'essais fédéral près l'école polytechnique de Zurich. Un laboratoire d'enseignement se trouve également installé à l'Ecole des voies et communications de Saint-Pétersbourg.

Quant aux laboratoires allemands, on peut citer le laboratoire de l'État à Charlottenbourg, ainsi que les laboratoires des Ecoles polytechniques de Munich, Dresde, Stuttgart etc. L'Autriche possède des laboratoires d'essais rattachés aux Ecoles techniques supérieures de Vienne et de Prague, ainsi qu'un laboratoire organisé par le Musée technologique des Arts et Métiers de Vienne. Bien que dû à l'initiative privée, ce laboratoire n'en est pas moins placé sous le contrôle de l'État, et le Ministère de la Guerre y fait exécuter d'importants travaux ; la Belgique possède dans son établissement de Malines un laboratoire bien outillé.

Enfin, aux Etats-Unis, on a fondé, il y a quelques années, dans l'arsenal de l'Artillerie de Watertown, un laboratoire d'essais dont le règlement a été élaboré, pour le cas d'essais exécutés pour l'industrie privée, par une Commission de la Société américaine des ingénieurs civils. Nous n'avons pas la prétention de vouloir épuiser la liste de toutes les organisations similaires. Il nous suffit d'avoir montré combien on se préoccupe partout de placer les essais de matériaux de construction, sinon sous le contrôle complet de l'Etat, tout au moins entre les mains d'hommes aussi compétents que désintéressés dans toutes les questions d'ordre commercial [2].

1. Voir A. B. W. Kennedy. The Use and Equipment of Engineering Laboratoires. (*Proceed. of the Inst. of Civil Engineers*. Vol. 88, 2e partie 1887).
2. Sur l'organisation des laboratoires d'essais placés sous le contrôle de l'Etat, voir l'intéressant opuscule de M. von Pichler, *Die Matérialprüfungs-Maschinen der Pariser Weltausstellung im Jahre* 1878. Leipzig 1879, pp. 2 et 3.

# NOTE

SUR UNE

# MÉTHODE N'EXIGEANT PAS LA MESURE DE PETITES DIMENSIONS

## pour la détermination du coefficient d'élasticité et de la limite des allongements permanents des corps métalliques

PAR

ED. PHILLIPS

MEMBRE DE L'INSTITUT

---

Cette méthode est fondée sur les résultats d'un mémoire antérieur [1] dans lequel j'ai établi la théorie du spiral réglant des chronomètres et des montres.

J'ai obtenu la formule suivante

$$T = \pi \sqrt{\frac{AL}{EI}}$$

où T est la durée d'une oscillation simple du balancier et du spiral ;

A, le moment d'inertie du balancier ;

L, la longueur développée du spiral entre ses deux bouts encastrés ;

I, le moment d'inertie de la section transversale du spiral ;

E le coefficient d'élasticité du spiral.

Cette formule, rigoureuse et analogue à celle du pendule, permet de déterminer E, comme celle du pendule permet de déterminer l'intensité de la pesanteur aux divers points de la terre.

Il suffit d'étirer le corps en fil en lui donnant la forme d'un spiral de chronomètre terminé par deux courbes, des nombreux types que j'ai indiqués comme

1. *Annales des Mines*, 1861.

donnant l'isochronisme, de le relier à un balancier et de faire osciller le système. On n'a alors qu'à compter un nombre suffisant d'oscillations avec l'aide d'un compteur permettant d'évaluer le temps total, d'où l'on conclut T. Dans les nom-

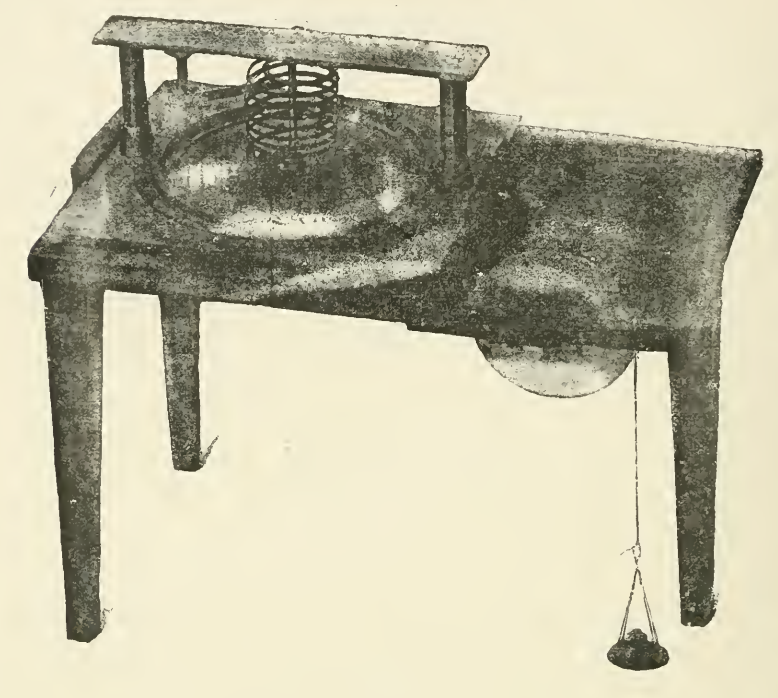


FIG. 1.

breuses expériences que j'ai faites, le nombre d'oscillations a varié entre 200 et 1000. Le fil avait une section circulaire d'environ 1 millimètre de diamètre que l'on mesurait rigoureusement avec un micromètre de précision.

En supposant la section circulaire, d'un diamètre *d*, la formule précédente donne

$$E = \frac{64 \pi A L}{d^4 T^2}$$

On peut aussi obtenir le coefficient d'élasticité E par un autre procédé. Dans le mémoire précité sur le spiral réglant, j'ai établi la formule suivante:

$$G = \frac{E I \alpha}{L}$$

où E, I et L ont le même sens que précédemment.

De plus G est le moment de la force qu'il faut appliquer au balancier pour le

maintenir écarté d'un angle $\alpha$ de sa position naturelle d'équilibre, alors qu'il n'est soumis à aucune force, l'angle $\alpha$ étant mesuré en arc dans un cercle d'un rayon égal à l'unité.

De cette dernière formule, on déduit E, toutes les autres quantités étant données par l'expérience. Si le fil a une section circulaire, d'un diamètre $d$, on a

$$E = \frac{64\ G\ L}{\pi\ d^4\ \alpha}$$

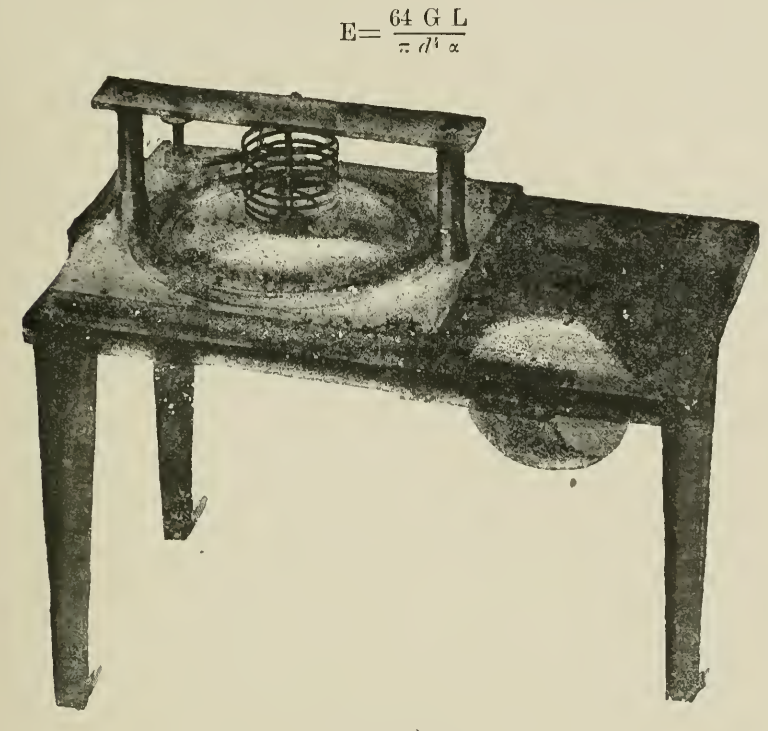


FIG. 2

Pour mesurer la limite d'allongement élastique, je me suis servi de la formule suivante établie dans le mémoire sur le spiral réglant

$$i = \frac{e\ \alpha}{2\ L}$$

où $e$ est l'épaisseur du spiral, L sa longueur et $i$ l'allongement proportionnel du spiral quand le balancier est écarté d'un angle $\alpha$ de sa position naturelle d'équilibre. On prend pour l'angle $\alpha$ celui à partir duquel le balancier cesse de revenir rigoureusement à sa position naturelle d'équilibre, la force étant supprimée. Dans mes expériences, j'ai eu, pour le fer, $\alpha = 150°$ et pour l'acier, $\alpha = 310°$. Le minimum de $\alpha$ a été pour le platine, $\alpha = 30°$ et son maximum pour le bronze d'aluminium (0,9 de cuivre et 0,1 d'aluminium), $\alpha = 370°$.

# DE L'EMPLOI

DES

# MODÈLES POUR DÉTERMINER EXPÉRIMENTALEMENT

## les conditions de résistance des solides élastiques

PAR

ED. PHILLIPS

MEMBRE DE L'INSTITUT

---

Il existe de nombreuses circonstances dans lesquelles les conditions d'équilibre des solides élastiques n'ont pu être, jusqu'à présent, déduites de la théorie mathématique de l'élasticité et ne sauraient être obtenues qu'au moyen de méthodes fondées sur des hypothèses plus ou moins approchées, lesquelles même, souvent, ne sont pas applicables. Il est donc utile de chercher comment, d'une manière générale, l'expérience peut suppléer à la théorie et fournir à priori, par les résultats de l'observation sur des modèles en petit, les conséquences désirables relatives à des corps de plus grandes dimensions qui peuvent n'être pas encore construits. C'est cette pensée qui m'a suggérée le travail dont je présente ici les conclusions et qui est entièrement fondé sur la théorie mathématique de l'élasticité (1).

Désignons par $\alpha$ le rapport des dimensions linéaires du modèle à celles du corps ;

Par C, le rapport de leurs coefficients d'élasticité ;

Par $\gamma$, le rapport de leurs densités;

Par $\delta$, le rapport des forces agissant sur toute la masse des deux corps et rapportées à l'unité de masse. Très généralement, pour le corps lui-même, cette force est celle de la pesanteur et, si elle est aussi la pesanteur pour le modèle, on aura $\delta = 1$.

J'ai cherché la condition pour que, dans le modèle et dans le corps, deux éléments superficiels homologues quelconques, pris dans la masse, soient soumis à des forces élastiques, parallèles, de même sens, et qui, rapportées à l'unité de surface, soient dans un rapport constant.

Cette condition est très simple, elle consiste en ce que les forces uniformément

1. *Mémoires de l'Institut*, tome XXXVIII, pages 1 et 91.

réparties par unité de surface, appliquées sur la surface des deux corps, et comparées de l'un à l'autre, doivent être respectivement parallèles, de même sens et qu'en les supposant rapportées à l'unité de surface, leur rapport soit constant et égal à $\alpha \gamma \delta$. Il arrive alors que le rapport des forces élastiques rapportées à l'unité de surface, pour deux éléments superficiels homologues quelconques de la masse des deux corps est aussi égal à $\alpha \gamma \delta$.

Si, parmi les forces appliquées à la surface, il y en a qui ne soient pas uniformément réparties, mais appliquées chacune en un point, elles doivent être parallèles de même sens et dans un rapport constant égal à $\alpha^3 \gamma \delta$. Le rapport des forces élastiques, rapportées à l'unité de surface, pour deux éléments superficiels homologues quelconques de la masse des deux corps est toujours égal à $\alpha \gamma \delta$.

S'il n'y a pas de forces appliquées à la surface, le rapport des forces élastiques sur deux éléments homologues quelconques, est toujours égal à $\alpha \gamma \delta$.

Dans le cas assez fréquent où les forces agissant sur toute la masse sont nulles ou négligeables, la condition se simplifie. Elle consiste en ce que les forces uniformément réparties, appliquées à la surface doivent être parallèles, de même sens et dans un rapport constant quelconque K, en les supposant rapportées à l'unité de surface. S'il y a, sur la surface, des forces appliquées en un point, elles doivent être parallèles, de même sens et dans un rapport constant égal à $K\alpha^2$, en les supposant rapportées à l'unité de surface. Dans tous les cas, le rapport des forces élastiques, rapportées à l'unité de surface, pour deux éléments superficiels quelconques, est constant et égal à K.

Quant aux déformations, les deux corps déformés restent semblables, le rapport de similitude étant $\alpha$.

1° Quand, les forces appliquées à toute la masse, n'étant pas négligeables on a $\alpha \gamma \delta = 1$.

2° Quand, les forces appliquées à toute la masse étant négligeables on a $K = 1$.

Dans ces deux mêmes cas, tout ce qui précède s'applique sans modification si, au lieu d'un seul corps, on a un système de corps soumis aux liaisons qui existent ordinairement.

On peut supposer dans tout ce qui précède, $\gamma = 1$, si nous admettons que toutes les parties correspondantes du corps ou du système du corps et du modèle soient formées des mêmes substances, et c'est ce que nous ferons pour ce qui va suivre.

Ici se place une remarque importante. Supposons le cas où la force appliquée à toute la masse du corps ou du système et qui sera, presque toujours, celle de la pesanteur, n'est pas négligeable. Alors le rapport des forces élastiques du modèle à celle du corps ou du système de corps, est $\alpha \gamma \delta$, ou pour $\gamma = 1$, $\alpha \delta$. Si la force agissant sur la masse du modèle est aussi la pesanteur, $\delta = 1$ et le rapport des forces élastiques est $\alpha$. Or $\alpha$ sera généralement une petite fraction. Par conséquent, les forces élastiques du modèle seront trop faibles et leurs effets ne pour-

ront pas se manifester suffisamment par l'observation. Mais il existe un moyen qui, dans bien des cas, est propre à lever cette difficulté. Il consiste à substituer dans le modèle, la force centrifuge à la pesanteur.

Supposons par exemple, qu'il s'agisse d'une poutre de pont. Le modèle étant placé verticalement afin d'annuler sur lui l'effet de la pesanteur, on le ferait tourner autour d'un axe vertical situé à une distance suffisante pour que la force centrifuge, rapportée à l'unité de masse, puisse être regardée comme constante, en grandeur et direction pour tous les points du modèle et, $r$ étant la distance moyenne du modèle à l'axe, on déterminera la vitesse angulaire de rotation $\omega$ par la condition que l'on ait

$$\frac{\omega^2 r}{g} = \delta$$

$\delta$ ayant la valeur voulue.

Par exemple, si l'on veut que les forces élastiques soient les mêmes dans le modèle et dans le corps ou système de corps, on posera

$$\alpha\delta = 1 \quad \text{d'où} \quad \delta = \frac{1}{\alpha}$$

Si l'on veut que les forces élastiques du modèle soient égales à celles du corps ou système de corps supposé soumis à une pesanteur fictive double de la pesanteur, on fera

$$\alpha\delta = 2 \quad \text{d'où} \quad \delta = \frac{2}{\alpha}$$

De même

$$\alpha\delta = 3 \quad \text{d'où} \quad \delta = \frac{3}{\alpha}$$

Si l'on veut que les forces élastiques du modèle soient égales à celles du corps ou système de corps supposé soumis à une pesanteur fictive triple de la pesanteur, et ainsi de suite.

J'ai appliqué cette théorie à divers exemples, notamment au pont tubulaire Britannia élevé sur le détroit de Menai.

Les données sont :

Longueur du pont en 4 travées inégales 430 mètres ; poids d'un tube 4 740 000 kilogrammes.

J'ai pris, pour le modèle, une échelle de $\frac{1}{50}$, soit $\alpha = \frac{1}{50}$. De là résultent :

Longueur du modèle $8^{m},60$ ; poids du tube formant le modèle 38 kilogrammes.

J'ai supposé l'axe de rotation situé à une distance moyenne de 2 mètres du modèle.

En faisant d'abord $\alpha\delta = 1$, on a $\frac{\omega^2 r}{g} = 50$, d'où $\omega = 15^m,65$ ce qui répond à 2 tours 1/2 par seconde.

Pour $\alpha\delta = 2$, il faut 3 tours 1/2.

Pour $\alpha\delta = 3$, il faut 4 tours 1/3.

Pour $\alpha\delta = 4$, il faut 5 tours, etc.

Supposons, en outre, qu'on ait, en un certain point du pont, une charge isolée de 10000 kilogrammes et cherchons le poids P à appliquer contre le point homologue du modèle pour que la force centrifuge due à ce poids exerce sur le modèle l'effort transversal exigé.

En faisant $\alpha\delta = 1$, on a

$$\frac{P}{g}\varpi^2 r = \alpha^2 \times 10000 = 4 \text{ et, comme } \frac{\varpi^2 r}{g} = 50.$$

on a $P = 0^k,080$.

Pour les autres vitesses examinées ci-dessus, la force centrifuge du poids P variera comme la pesanteur fictive du pont.

On déterminerait d'une manière analogue, pour le modèle, les conditions de la charge uniformément répartie.

E. PHILLIPS

# LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION
# et leur emploi

Pierres — Briques — Chaux — Ciments
Asphaltes — Bois

Par MM. HALLOPEAU & LASCOMBE

## AVANT-PROPOS

L'Architecture et ses procédés de construction étaient représentés d'une manière toute spéciale à l'Exposition Universelle de 1889. Le Champ de Mars, l'Esplanade des Invalides, le Trocadéro, les berges de la Seine présentaient dans une grande variété d'édifices, les spécimens les plus divers des matériaux susceptibles d'emploi. On a suivi l'architecture depuis son enfance jusqu'à nos jours, dans ses étapes successives depuis l'antre du Troglodyte jusqu'à la maison moderne dont l'expression la plus vraie et la plus élégante était le pavillon du Gaz.

L'homme primitif se réfugie dans les cavernes et en fait sa demeure : bientôt elles ne lui suffisent plus, et il va demander aux forêts les éléments nécessaires à l'édification d'une humble et fragile cabane qu'à l'aide de solides pieux il fixera au milieu des lacs à l'abri des bêtes féroces. L'homme triomphe enfin dans sa lutte avec la nature. Il taille les pierres, les assemble, les lie entre elles et les décore. La maison devient spacieuse, agréable et confortable. Ingénieur autant qu'architecte, l'être humain demande à la science d'aider la nature. Plus tard, la chimie lui apprend l'analyse et la préparation des corps, et, avec elle, il reconstitue la matière qui lui manque. A la pierre naturelle trop coûteuse et parfois trop rare, il substitue la pierre factice ; au bois trop lourd et trop massif, le fer plus léger et plus maniable ; dans les contrées où l'emploi du

bois est encore plus avantageux, il sait, par un enduit spécial, préserver les planchers et la charpente des chances cruelles d'un incendie. Non seulement constructeur, il est aussi artiste, et la matière prend sous sa main les formes les plus élégantes.

Sans sortir du cadre de cette Revue, nous nous proposons dans le présent article de faire ressortir les progrès obtenus pendant les dernières années dans les méthodes de fabrication et d'essai; nous montrerons comment la matière peut, sous d'habiles mains, se transformer et prendre la forme de ces palais grandioses qui ont fait l'admiration de tous en 1889.

Cette époque, en effet, marque dans l'art de bâtir une ère nouvelle et originale. *Le fer* prend une place définitive et importante parmi les matériaux de construction; l'emploi du métal est adopté non plus seulement par les ingénieurs comme en 1867 et 1878, mais aussi par les architectes.

En donnant tout à la fois une extrême légèreté et une portée considérable, le fer permet une grande hardiesse dans les proportions; il en résulte une grande simplification dans la répartition des fondations et par suite une réelle économie, lorsque le sous-sol est mauvais. Cette considération a contribué à faire adopter les dimensions exceptionnelles du Palais des Machines (115 mètres de largeur), eu égard à la difficulté de créer des fondations solides dans le Champ de Mars. Dans toutes les autres constructions du Champ de Mars, la même ordonnance générale a été observée pour les diverses parties des édifices principaux : une ossature métallique, à parois pleines, dans les montants laissent paraître les lignes sévères, les intervalles étant complètement remplis par des poteries, des faïences ou des briques. Des charpentes d'une portée variable entre 15 et 30 mètres, reliaient les poteaux en tôle et cornières, formant pilastres.

Dans l'ensemble, les constructions présentaient cependant l'aspect imposant qui inspire confiance dans la solidité de l'œuvre. Par une répartition habile des panneaux de terre cuite, les parties en élévation qui ne supportaient que leur propre poids avaient reçu les formes les plus élégantes.

Le métal a donc conquis en 1889 après une lutte de près d'un siècle, la consécration officielle de l'art monumental [1].

(1) Dès 1845, Henri Labrouste, ancien pensionnaire de Rome, rompt la tradition et ose utiliser le fer apparent dans la construction de la salle de la bibliothèque sainte Geneviève; plus tard, il conçut dans les mêmes conditions la salle de lecture de la bibliothèque nationale : Il fut suivi par Baltard dans l'exécution du dôme de saint-Augustin.

A la suite du fer, ont pris également une place considérable les produits de décoration de l'industrie céramique moderne : les briques teintées, les laves émaillées, les faïences, les tuiles vernissées.

Léon Vaudoyer fit emploi de tuiles vernissées pour rappeler les traditions du Moyen-Age, dans la reconstruction du conservatoire des Arts et Métiers.

A l'intérieur, les motifs décoratifs étaient réalisés par des peintures, des sculptures, des moulages en plâtre, en céramique ou en staff, disposés avec beaucoup d'art, de manière à laisser deviner les formes de la charpente.

Toutefois le rôle de la maçonnerie dans la construction des Palais de l'Exposition et de leurs annexes en 1889 a été encore très considérable ; il suffit de citer l'infrastructure et les fondations des bâtiments, les pavillons des expositions diverses, les fontaines monumentales du parc, les modèles de l'habitation humaine, le palais du Ministère de la Guerre sur l'Esplanade des Invalides, les galeries de l'Agriculture, les fondations de la Tour Eiffel, les égouts, trottoirs, etc., etc.

Le relevé ci-dessous permet d'apprécier l'importance relative des travaux de diverses natures qui ont été exécutés pour la construction du Palais des Machines.

| | | |
|---|---|---|
| Charpente en fer . . . . . . . . . . . | 5.443.208 | francs. |
| Terrasse et maçonnerie. . . . . . . . . | 592.425 | » |
| Charpente en bois . . . . . . . . . | 193.760 | » |
| Couverture et plomberie, zinc. . . . . . | 136.682 | » |
| Carrelage - parquetage. . . . . . . . . . | 78.591 | » |
| Ornementations en staff . . . . . . . . . | 256.141 | » |
| Peinture . . . . . . . . . . . . . . . | 158.547 | » |
| Menuiserie . . . . . . . . . . . . . . | 34.345 | » |

L'étude de la construction des Palais du Champ de Mars ferait, à elle seule, l'objet d'une description fort intéressante au point de vue de l'emploi des divers matériaux.

Nous citerons les quatre pieds de la Tour Eiffel ; ils portent sur de véritables piles en maçonnerie qui ont été faites dans des caissons en tôle à air comprimé. Ces piles de 15 mètres de côté, et d'une profondeur moyenne variable entre 9 et 14 mètres, reposent sur des massifs en béton de 2 mètres d'épaisseur.

Les bétons et mortiers sont en ciment de Boulogne au dosage de 250 kilogrammes par mètre cube de sable, et les massifs en pierre de Souppes. Ils sont couronnés par deux assises en pierre de taille de Château-Landon, au-dessus desquelles sont établies les fondations d'un soubassement décoratif en béton Coigniet.

Dans le massif de la pile Sud, une cave de grandes dimensions a été réservée pour loger les machines à vapeur et leurs générateurs pour le service des ascenseurs, des pompes et des dynamos.

En 1889, les principales expositions des pierres, briques, chaux et ciments ont été réparties dans les diverses parties du Champ de Mars, du Trocadéro, du quai d'Orsay, selon les diverses convenances (voir dans l'atlas le plan de l'Exposition).

Ainsi les gros blocs de pierre d'une manutention difficile ont été déposés sur le quai d'Orsay ; les briques, chaux et ciments ont été exposés dans une galerie en bois établie sur la berge du quai de Passy (Trocadéro) en aval du Pont d'Iéna. Divers pavillons isolés, construits dans le Champ de Mars, renfermaient les expositions particulières telles que :

L'Exposition céramique de M. Perrusson ;

Le Pavillon de marbreries et ardoisières de Laruns et Gèze — Belestin ;

La construction de M. Daval, spécimen de restauration en ciment métallique ;

Le Pavillon Finlandais renfermait le granit de Finlande, feldspath bleu à reflets d'opale.

Dans la grande galerie centrale, la porte de la galerie latérale, classe 20, en céramique, terre cuite, faïence et mosaïque, formait un ensemble remarquable et du plus heureux effet.

Les produits les plus remarqués parmi les matériaux artificiels étaient compris dans les expositions suivantes :

MM. Brault père, Briques et tuiles.
Brault fils, Faïences.
Castelier, Briques.
Emile Muller, Produits en grès, faïences, Céramique de Construction et Céramique d'Art.
Charnoy et C[ie], Carrelages.
Debaecker, Faïences pour décoration monumentale.
Gaidan (de Marseille), Carreaux en faïences décorées et artistiques.
Fargues, Revêtements céramiques ; Reproduction des archers de la garde d'Artaxercès, (sous la direction de M[me] Dieulafoy).
Guilbert-Martin, Mosaïque artistique.
Sailles-lez-Andennes (Belgique).

Deux grandes fresques en faïence de Longwy, ornaient les piliers de la galerie centrale ; elles reproduisaient des figures de Clairin, le *Houblon* et le *Tabac*.

On remarquait également près l'avenue de la Bourdonnais :

La construction de MM. Solway et C[ie] avec façade en granit belge ;

La pavillon de l'Union céramique et chaufournière ;

L'Exposition de Montchanin ;

La construction de la Compagnie générale des Asphaltes.

Les diverses expositions étrangères comprenaient souvent des échantillons curieux et intéressants de matériaux susceptibles d'emploi dans la construction des édifices.

A l'extérieur des galeries réservées à la *Grande-Bretagne*, du côté de l'avenue de la Bourdonnais, étaient placés de superbes spécimens de marbres provenant des différentes régions du royaume ; à la suite, se trouvaient les produits de la maison Doulton, faïences, terres cuites, médaillons, appliques, tuiles vernissées,

tuyaux en grès vernis ; puis les produits de MM. Maw et C[e], carrelages, mosaïques, lambris, cheminées, poteries.

Dans le palais Indien, on remarquait une vasque de marbre blanc de grandes dimensions.

La *Galerie Belge* renfermait de beaux marbres en plaques de griotte de Flandre.

La *Galerie Russe* renfermait parmi les produits les plus rares et les plus curieux, d'énormes échantillons d'arbres agatisés.

Ces arbres séculaires ont été recueillis dans de véritables carrières, ouvertes au milieu de laves et de scories d'éruptions volcaniques. Les sections aussi bien en long qu'en travers des fibres du bois qui ont pris les teintes les plus variées et qui présentent la plus grande dureté, donnent après polissage, les tons des marbres les plus riches et les plus brillants avec des teintes irisées, d'un bel effet.

Il sera possible de tirer parti de ce produit pour la décoration.

La *Tunisie* exposait dans son pavillon spécial des bois et des variétés de marbre d'un jaune doré avec veines brillantes d'un effet magnifique et tout exceptionnel. La collection présentée par M. Valensi, directeur de la Société anonyme des carrières de marbre de Schewton était très remarquable.

Dans l'*Exposition Grecque*, la Commission des Olympies a présenté une remarquable collection de 72 échantillons de marbres d'une grande variété, notamment un bloc rouge veiné de bleu et de noir, de l'île de Chiot et des marbres verts.

Du *Portugal* est venu M. Caldas de Rainha qui exposait des faïences de grandes dimensions.

Dans la galerie de la *Roumanie* figurait l'exposition de la Société de basalte artificiel, comprenant des briques, des carrelages, des pièces de revêtement.

Les *Etats-Unis* présentaient des bois pétrifiés de l'Arizona et du Mirmesota semblables aux bois agatisés de la Russie.

La *République Argentine* exposait, dans son pavillon, de beaux échantillons, de marbres blancs. D'autre part, cette exposition comprenait de remarquables spécimens de bois forestiers : Goyavier, Maté, Palmier, Bananier, Olivier, Grenadier, Oranger.

La *République de l'Equateur* avait envoyé une grande variété de bois.

Après cet examen rapide des diverses parties de l'Exposition de 1889 qui ont attiré l'attention du constructeur, il est possible de tracer dans ses grandes lignes la marche qui a été suivie pour l'étude technique des matériaux de construction (1).

Pour les divers matériaux, marbres, pierres, briques, chaux, ciments et autres, il faut étudier les conditions dans lesquelles ils se présentent au choix de l'ar-

(1) L'étude de la céramique sera comprise plus spécialement dans un autre chapitre (Deuxième partie de la *Revue Technique*).

chitecte, c'est-à-dire le lieu de provenance, le temps écoulé depuis l'époque de leur extraction ou de leur fabrication, la force de résistance, le degré de dureté, d'homogénéité, les qualités ou les défauts, le mode d'emploi, leur adhérence au mortier et au ciment.

D'une manière générale, la pierre trouve son emploi dans l'exécution des monuments et des travaux d'art, toutes les fois que les dimensions ne dépassent pas certaines limites, et que l'ingénieur et l'architecte trouvent à proximité des gisements de bonne qualité, à la condition que des raisons d'économie n'imposent pas l'obligation d'avoir recours au métal.

Ainsi il est encore construit un grand nombre de ponts en pierre. Le pont de Lavaur, récemment construit sur la ligne de Saint-Sulpice à Castres, comprend une arche de 61$^{m}$,50. Le viaduc de Saint-Laurent, ligne de Mende à Sévérac, présente une longueur de 269 mètres. Le viaduc de Crenize, ligne de Marvéjols à Meussargues, comprend 6 arches de 25 mètres d'ouverture, et il s'élève à une hauteur de 63 mètres au-dessus de la vallée.

Les piles et culées des ponts métalliques sont construits le plus souvent en maçonnerie.

La pierre et le ciment jouent également un rôle très considérable dans les travaux publics, la construction des édifices, celle des tunnels et enfin des égouts (1200 kilomètres dans Paris), des digues, des phares, soit en rivière, soit à la mer.

Dans la construction des ouvrages en maçonnerie, on doit tenir compte des conditions de résistance des matériaux lorsqu'ils sont soumis à de très fortes charges, aussi bien les pierres que les mortiers qui les relient.

Les pierres sont superposées les unes sur les autres par des surfaces plus ou moins dressées, et le mortier assure la répartition des pressions ainsi que l'adhérence.

Dans l'antiquité comme au moyen-âge, l'emploi de la pierre a été fait dans les conditions les plus hardies, et il semblerait qu'il n'y ait plus aucun perfectionnement à chercher.

Et cependant, ici encore la loi du progrès se confirme et se vérifie.

Les ingénieurs et les architectes, soucieux de s'entourer des plus sérieuses garanties, les entrepreneurs eux-mêmes pénétrés du sentiment de leur responsabilité, savent obtenir des fournisseurs pour les constructions de quelque importance des matériaux de choix offrant toute sécurité. La résistance de la pierre doit être supérieure à celle du mortier.

D'après les ouvrages classiques, les mortiers en ciment ne doivent pas supporter une charge supérieure à 20 kilogrammes par centimètre carré. Ce n'est que très exceptionnellement que cette charge maxima a été dépassée, comme il résulte du tableau établi par Navier :

| | |
|---|---|
| Piliers du dôme des Invalides, à Paris. . . . . | 14 k. 76 |
| — — de St. Pierre de Rome . . . . | 16 k. 36 |

| | |
|---|---|
| — — de St. Paul de Londres . . . . | 17 k. 36 |
| Colonne de St. Paul hors des murs, à Rome . . | 19 k. 36 |
| Piliers de la tour de l'église St. Merri, à Paris . . | 29 k. 40 |

Au delà, l'édifice est promptement en ruines.

L'étude des chaux, ciments et mortiers présente une importance capitale ; la fabrication et l'emploi ont fait de notables progrès pendant ces dernières années. Les anciennes recherches de M. Gariel et de M. Durand-Claye ont été poursuivies très activement au laboratoire de l'Ecole des Ponts et Chaussées, par M. Debray.

Les résultats obtenus sont forts intéressants, car ils assurent la durée de tous les travaux de maçonnerie, notamment celle des constructions à la mer.

D'autre part, les remarquables travaux de M. Vicat, fondés sur les progrès de la chimie, ont été poursuivis avec fruit, les mémoires publiés récemment par M. Bonnami et par M. Candlot donnent de précieux renseignements à ce sujet.

En ce qui concerne les essais des chaux, ciments et mortiers, on paraît adopter maintenant de préférence à l'essai par l'aiguille de Vicat, les épreuves par traction directe qui donnent des résultats plus précis.

Il reste à fixer une méthode générale pour le choix des pierres et des ciments dans les conditions visées dans les discussions du Congrès des Procédés de construction en septembre 1889 (1).

L'attention du monde savant est fixée sur ces questions : une Commission technique a été constituée récemment au Ministère des Travaux publics en vue de l'étude approfondie des dispositions à adopter pour l'unification des épreuves à faire subir aux matériaux de construction avant leur emploi, métaux, pierres et ciments.

Vicat a reconnu autrefois l'influence prépondérante du sulfate de magnésie sur la désagrégation des ciments à la mer. M. Candlot a poursuivi par de nombreuses et savantes expériences une nouvelle série de recherches à ce sujet. Il a montré que le chlorure de calcium ralentit la prise du ciment, et que la rapidité de la prise varie selon la solubilité de l'alumine des aluminates de chaux au contact de solutions plus ou moins concentrées de chlorure de calcium.

Enfin M. Candlot a établi que la chaux en excès s'éteint en quelques minutes au contact d'une solution de 3 % de chlorure de calcium. On peut donc obtenir l'extinction totale de la chaux libre dans un ciment, en le gâchant avec de l'eau renfermant cette proportion de chlorure.

(1) Voir compte-rendu du congrès.— M. Eiffel, président; M. Petit, rapporteur.

Pour ce qui est des bois, la France est l'un des rares pays qui possèdent des bois d'essences très diverses.

Le Pavillon des Forêts, au Trocadéro, était une véritable merveille, chef-d'œuvre de science et de goût.

La décoration extérieure était faite exclusivement en *rustique*, en panneaux de bois *non écorcés* tirés des coupes de Fontainebleau.

Une partie des panneaux en bois sains, étaient intercalés entre d'autres panneaux formés de bois attaqués par les insectes parasites. Ces panneaux étaient formés de rondins juxtaposés de couleurs différentes : bouleaux, pins, peupliers, érables, etc.

Tout le pavillon était en bois, y compris les toits en planchettes de chêne découpées.

Il a été étudié sous la direction de M. Eugène de Gayffier, conservateur des forêts à Melun, qui avait organisé antérieurement les expositions de l'Administration forestière en 1867 et en 1878.

Il comprenait un vaste rectangle de 43 mètres sur 37, présentant sur la façade extérieure une grande galerie ou promenoir, formée de panneaux très divers comme coloration. De loin, les colonnes, toutes de même diamètre, formée de chênes, de hêtres et d'érables, donnaient l'illusion de teintes de marbres.

En résumé, nous nous sommes proposés d'étudier rapidement dans les divers chapitres de cette partie de la *Revue technique*, les procédés actuellement mis en œuvre pour l'exploitation ou la fabrication des matériaux les plus importants parmi ceux qui ont figuré à l'exposition du centenaire, de manière à conserver trace des progrès réalisés dans les dernières années depuis 1878. Sans aucun doute, un certain nombre auront été omis, à notre grand regret, les renseignements que nous avions sollicités près des exposants ne nous étant pas parvenus. Nous espérons toutefois montrer les résultats obtenus dans le choix et dans la qualité des matériaux de construction, et dans leur emploi judicieux.

---

# I. — MARBRES

## § I. — MARBRES NATURELS

Parmi les matériaux les plus précieux pour l'ornementation, le marbre tient la première place par la dureté, le poli, l'éclat, la variété des teintes, la netteté des arêtes.

On l'emploie en revêtements et en dallages, marches d'escalier, rampes, balustres, cheminées, etc.

On se sert en marbrerie des *marbres proprement dits* et albâtres, des granites, porphyres, etc., et de la serpentine. Les diverses espèces de marbres se distinguent les unes des autres par leur principale couleur et celles de leurs nombreuses veines. On les débite à la scie à grès, et on les taille au ciseau. Leur polissage est long et minutieux.

Les marbres peuvent avoir plusieurs défauts. Le marbre est dit *fier* lorsqu'il résiste par trop à l'outil et qu'il éclate quand on veut y former des arêtes.

Le marbre est *filandreux* quand il porte des *fils* qui nuisent a son poli et à sa résistance.

Le marbre est *terrasseux* quand il présente des vides remplis de matières terreuses.

Le marbre est *pouf* quand il s'égrène facilement.

L'emploi du marbre s'est généralisé depuis l'époque de la Renaissance et surtout depuis Louis XIV. Les palais Italiens étaient déjà construits en marbre à une époque antérieure.

La *France* est, sans contredit, un des pays les plus riches en marbre de toute espèce (voir dans l'atlas la carte de France).

La *Belgique* possède d'importantes et riches carrières de marbres qui depuis longtemps sont exploitées sur une grande échelle.

L'*Italie* est, pour ainsi dire, et sera encore longtemps la patrie des beaux marbres. Son prestige est loin d'être affaibli, quoique nous ayons en France des marbres semblables et d'aussi bonne qualité. Elle est surtout riche en marbres statuaires et en marbres antiques.

La *Grèce moderne* a retrouvé les anciennes carrières qui produisaient le marbre de Paros, le marbre penthélique, etc., mais elle n'en a pas tiré tout parti possible à cause des difficultés d'exploitation qu'on rencontre dans ce pays.

L'*Espagne* exploite très peu de marbres maintenant, mais elle en renferme cependant de nombreux gisements.

Le *Portugal* possède aussi beaucoup de marbres.

L'*Allemagne* ne possède que quelques carrières (marbre de Silésie).

L'*Autriche* est très riche en marbres, surtout en *Moravie* et dans les provinces confinant à l'Italie.

La *Suède*, la *Norvège*, l'*Angleterre*, possèdent très peu de marbres.

Le *Canada* produit une collection très remarquable de cette matière.

La *Tunisie* possède plusieurs exploitations importantes.

Dans l'*Inde anglaise* on signale les marbres de Delhi, Gyepore, etc.

La *Turquie* a, dans sa collection, le marbre de Tohat, qu'on retrouve également au *Mexique*.

Enfin l'Ile de *Sumatra* possède un beau marbre noir à veines blanches ou jaunâtres.

Les marbres, mis en œuvre, figuraient surtout dans la classe 18, par les soins de MM. Sarfoury, Laichemolle, Drouet-Langlois, Gruot et Bezenech de Paris Cantini de Marseille, Valensi de Tunis.

Une place d'honneur était réservée dans la galerie de 30 mètres à M. Valensi dont l'exposition comprenait des échantillons très rares provenant de la côte italienne, de l'Afrique et du Levant, principalement des onyx et des marbres blancs.

Dans la classe 41, figuraient des échantillons très complets des marbres des Pyrénées : griotte coquillée, escalet bariolé, sarancolm, villefranche violet.

## § II. — MARBRES ARTIFICIELS

Le *stuc* est une composition, ou roche d'enduit, qui, au moyen de la peinture et du polissage, parvient à imiter parfaitement le marbre. C'est pourquoi on lui a donné le nom de *marbre artificiel.*

Ce produit était connu des Romains. On distingue deux espèces de stuc :

1° le *stuc à la chaux*, mélange de chaux et de poudre de marbre ;

2° le *stuc fait avec du plâtre* mélangé à de la colle forte.

Le premier est meilleur et plus résistant que le second, mais sa couleur est moins agréable à l'œil. On l'emploie lorsqu'on craint l'humidité. Le second est destiné surtout à être placé dans l'intérieur à l'abri de l'humidité et des intempéries de l'air.

Pour imiter des marbres diversement colorés, on a de petits vases renfermant de l'eau collée dans laquelle on détrempe une couleur particulière. On gâche du plâtre dedans et on applique le tout sur la surface que doit recouvrir l'enduit. On obtient ainsi des effets de marbre d'un très bel aspect. Le stuc en a poli et le brillant.

On le distingue facilement en le touchant avec la paume de la main. Le marbre bon conducteur de la chaleur détermine une sensation de froid très vive, qu'on n'éprouve pas au contact du stuc.

Le stuc a été employé fréquemment dans la décoration intérieure des Palais de l'Exposition.

# II. — PIERRES NATURELLES

## § I. — NOTIONS GÉNÉRALES

Les pierres se présentent dans la nature sous deux aspects différents. On les divise en *pierres calcaires* et *pierres siliceuses*.

Les *pierres calcaires* se trouvent dans les terrains de sédiments, formés par des débris de coquilles de poissons, d'animaux, de plantes. Ce sont celles dont l'usage est le plus fréquent dans les constructions. Leur densité est très variable et ne dépasse jamais 3 000 kilogrammes le mètre cube. Elles offrent toutes les espèces de structures : compacte, granuleuse, grésiforme, terreuse, grossière, cellulaire, cristalline, saccharoïde.

Elles se divisent en *pierres dures* et *pierres tendres*. Les *pierres dures* ne se laissent débiter qu'avec la scie à eau et à sable. Les *pierres tendres* se laissent couper avec la scie à dents. Les premières comprennent le liais, le cliquart, la roche, le banc franc. Les secondes comprennent la lambourde, le vergelé, le parmain, le banc royal, le Conflans et le Saint Leu.

Les *pierres siliceuses* proviennent de terrains ignés.

Elles comprennent le quartz (pierre à fusil), la meulière, les grès, les schistes, les granits, les pierres feldspathiques, la serpentine, les pierres *volcaniques*. Les pierres siliceuses résistent dans tous les sens, tandis que les pierres calcaires pour mieux résister doivent être pressées suivant un plan normal au plan de couche, plan qu'il faut placer horizontalement dans les constructions. Les *quartz* sont employés à la fabrication des bétons. Les *meulières* servent pour les murs de fondations et de refends. Les *grès* trouvent leur emploi dans le pavage ; les *schistes* servent à établir des couvertures en ardoises. Enfin le granit peut recevoir le poli, et, pour ce fait, sert à l'édification des monuments, surtout des monuments funéraires. La *serpentine* est employée comme marbre. Les autres pierres sont d'un emploi peu facile, et par conséquent peu employées.

Dans la pierre, si la porosité permet à l'eau de se loger dans de petites cavités sous l'action de la gelée, cette dernière augmentant de volume, casse la pierre qui tombe en morceaux. Ces pierres sont dites *gélives*. M. Brard a trouvé un moyen de reconnaître ce genre de pierres. Ce procédé a été modifié par M. Héricart de Thury. Il consiste à faire bouillir, pendant une demi-heure, le bloc à essayer (ayant 0,10 centimètres cubes environ) dans une dissolution de sulfate de soude saturé à froid, puis à retirer ce bloc et à le laisser reposer dans une salle maintenue à une température de 15 degrés jusqu'à ce qu'il soit recouvert d'efflorescence salines neigeuses semblables à du salpêtre, enfin à enlever les ai-

guilles salines en versant de l'eau pure sur le bloc. Ceci fait, on replonge le bloc dans la dissolution froide, on l'expose de nouveau à l'air et l'on continue ainsi pendant cinq ou six jours. Après ce temps, si la pierre n'est pas gélive, le sel n'entraîne rien avec lui. Au contraire, si la pierre soumise à l'expérience est gélive, dès que le sel disparaît, il entraîne avec lui des fragments de pierre, les arêtes s'émoussent et les angles perdent leur régularité.

Les autres défauts sont désignés comme suit :

Les pierres sont *moyées*, quand la texture présente des fils, c'est-à-dire des trous remplis de terre ;

Elles sont *moulinées* quand elles s'égrènent à l'humidité ;

Elles sont *ferrées*, quand elles présentent des zones dures dans la hauteur de leur banc.

On trouve encore dans les pierres des *cendrures* ou cavités remplies d'une matière étrangère, des *poils* ou fissures qui éclatent avec le temps, et enfin des veines terreuses dites *molasses*.

En général, la bonne pierre résiste à l'humidité, n'éclate pas au feu, donne un son plein quand on la frappe, est inaltérable, se travaille facilement, adhère très bien au mortier et résiste à l'écrasement et au choc.

La série de prix de la ville de Paris classe les pierres d'après leur densité et leur plus ou moins de facilité de recevoir le poli, en huit classes (1).

Le sol de la France est très riche en carrières de toutes sortes, granits, marbres, pierres de taille, pierres à chaux et à plâtre, ardoises, etc. Les environs de Paris, l'Est et le Sud-Est de la France, fournissent les plus belles carrières ; la Normandie est renommée pour ses granits.

Parmi les exposants de pierres naturelles qui ont été plus spécialement remarqués, il faut citer :

MM. Civet, Crouet, Gautier et Cie ;

La Société anonyme des carrières du Poitou ;

La grande exploitation des carrières de Chomérac ;

Les carrières de l'Échaillon (Isère).

Dans les expositions de cette classe, l'attention du visiteur était vivement frappée du goût avec lequel se trouvaient classées les nombreuses variétés d'un produit cependant presque uniforme.

Pour certains échantillons, ceux qui étaient exposés sur la berge, à proximité des points de débarquement, c'était surtout par leurs dimensions énormes, indépendamment de leurs parfaites qualités de finesse et d'homogénéité qu'ils attiraient les regards.

(1) Voir la série des prix de Ville de Paris. Edition de Novembre 1882.

## § II. — MAISON CIVET, CROUET, GAUTIER ET C^e^

La maison Civet, Crouet, Gautier et C^e^ exposait dans la classe 63, sur la berge de la Seine. Elle a obtenu un grand prix.

La Société extrait de ses carrières des pierres dures et des pierres tendres. Nous donnons plus loin un tableau résumant le classement de ses produits. Nous allons énumérer les propriétés des principales variétés.

### *I. — Château-Landon et Souppes* (*Liais*).

C'est un calcaire blanchâtre et très résistant, non gélif, donnant de beaux parements.

Cette pierre présente parfois des poches et tubulures dans les parements :

Poids du mètre cube 2 700 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré 750 kilogrammes.

Ce calcaire appartient au genre *liais*.

Il a été employé à la construction de l'Arc de Triomphe, à la fontaine Saint-Sulpice, etc. Pierre compacte et susceptible de poli.

### II. — *Liais de Corgoloin et Roche de Comblanchien.*

C'est un calcaire compact, blanchâtre, avec quelques oolithes, coquilles et polypiers disséminés dans certains bancs, et quelques faux délits dentelés ou stylolithes adhérents, comparables sauf la teinte, au calcaire blanc de Damparis, se taillant, se polissant, se sculptant comme lui. Il est ingélif.

Le calcaire marbre de *Comblanchien* est certainement le plus important gisement, comme qualité, qui ait été découvert dans ce genre de pierre ; sa densité et sa résistance sont comparables à celles des pierres bleues de Belgique, des calcaires jurassiques et de l'Echaillon.

Le *banc blanc de Comblanchien* est rare et exige des soins tout particuliers ; c'est le véritable *liais de Comblanchien*, appelé communément Corgoloin, du nom de la gare de chargement.

Son ton gris blanc s'allie on ne peut mieux avec celui des autres matériaux plus tendres.

On le trouve en bancs de $0^{m},40$ à 2 mètres de hauteur.

Poids du mètre cube ; 2 950 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 800 à 1 000 kilogrammes.

Cette pierre a été employée à la Banque de France, à la gare Saint-Lazare, à l'Hôtel de Ville, etc.

### III. — *Roche d'Euville.*

C'est un calcaire à entroques blanchâtres, miroitant, dur, presque formé entiè-

rement de débris de cils ou de bras d'encrines cristallisés en lamelles spathiques, réunis par un ciment cristallin.

C'est une pierre non gélive d'excellente nature. On la trouve en bancs de $0^m,40$ à $1^m,20$ de hauteur. Il y a des bancs différents dans la même carrière : les *bancs très fins* qui sont livrés à la marbrerie ; les *bancs fins* qui servent à la construction dans les parties décoratives ; les *bancs ordinaires* qui servent dans les autres parties de la construction.

Poids du mètre cube ; 2 000 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 350 kilogrammes.

Elle se coupe à la scie, à l'eau et au grès, se taille facilement. Elle a été employée au pont National et au pont de Bercy.

### IV. — *Liais de Larrays et Roche de Ravières.*

C'est un calcaire oolithique, blanchâtre, à grains arrondis ou allongés, très facile à tailler et se prêtant bien aux formes les plus délicates en conservant sous le ciseau les arêtes vives et nettes.

Il se débite en blocs de grandes dimensions pour colonnes, etc.

Il convient parfaitement aux décorations extérieures et intérieures, mais on doit toujours le placer au-dessus du socle. Son extraction ne se fait qu'en bonne saison, c'est-à-dire de mars à septembre, et on ne doit en faire usage que pendant ces mêmes mois.

La pierre ordinaire et veinée de ces carrières, quoique aussi résistante est employée comme piles et s'appelle communément *Roche de Ravières*.

Poids du mètre cube ; 2 600 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 300 kilogrammes.

Elle a été employée au nouvel Opéra, à la Cour de Cassation, à la Banque de France, etc., etc.

### V. — *Roches, Banc royal et Vergelé de Saint-Maximin.*

Les carrières de Saint-Maximin sont situées près de Creil, à 4 kilomètres de Chantilly. Elles fournissent aussi de bons moellons.

La roche se compose de deux bancs : l'un très fin et de peu de hauteur ; l'autre de grande hauteur et plus traitable.

### VI. — *Roche de la Ferté-Milon.*

On distingue dans cette pierre, qui est blanchâtre et de grain assez fin, la *roche douce* et le *banc franc*.

Poids du mètre cube ; 2 300 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 250 kilogrammes.

Elle a été employée à la gare de l'Est, au Mont de Piété, etc.

### VII. — *Roche de Lérouville.*

C'est un calcaire à entroques, assez dur, blanchâtre, analogue à celui d'Enville; il est plus grossier et plus celluleux. Les entroques sont réunies par un ciment crayeux.

Les bancs ont de 1 à 4 mètres d'épaisseur.

Poids du mètre cube; 2500 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré; 300 kilogrammes.

Cette pierre se coupe à la scie, à eau et au grès; on en peut faire des blocs de toutes dimensions.

Elle a été employée dans beaucoup de monuments de Paris.

### VIII. — *Banc franc de Villiers-Adam.*

C'est un calcaire blanc, jaune rosé, sans coquille, plein, ferme, se taillant bien, et éminemment propre à la sculpture et à la décoration; ingélif, il ne s'altère pas à l'air.

Il s'extrait en blocs de grandes dimensions. Bancs de $0^{m},60$ à $1^{m},50$.

Poids du mètre cube; 2100 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré; 100 kilogrammes.

Il a été employé à la Banque de France, au Crédit Lyonnais et dans bon nombre de monuments de Paris et de la Province.

### IY. — *Vergelé de Parmain.*

Cette pierre est un calcaire tendre, d'une belle teinte blanchâtre légèrement rosée et très régulière; elle est fine, homogène et ferme, quoique tendre et un peu grasse; se taillant très bien et recevant la sculpture fine, ainsi que les formes les plus délicates au tour.

Elle doit toujours être placée au-dessus du socle et a l'abri de l'humidité. Elle se débite à la scie à dents et peut fournir des blocs de grandes dimensions. Bancs de $0^{m},70$ à $1^{m},50$ de hauteur.

Poids du mètre cube; 2000 kilogrammes.

Elle a été employée à la Bourse, au ministère des Affaires Etrangères, etc.

### X. — *Banc royal et Vergelé de Saint-Vaast.*

Le *banc royal* est un calcaire tendre, de teinte régulière, blanc jaunâtre maigre, non gélif, résultant de l'agrégation d'un sable calcaire formé en grande partie de miliolithes; il se taille bien et se scie à la scie à dents; la masse a 12 mètres de hauteur, se divisant en banc de $0^{m},40$ à 3 mètres.

Le *vergelé de Saint-Vaast* est de formation semblable mais avec bancs plus

irréguliers. Ces deux pières s'emploient souvent dans les mêmes constructions, le banc royal dans les étages inférieurs et le vergelé dans les étages supérieurs.

Poids du mètre cube ; 2000 kilohrammes.

Résistance par centimètre carré ; 80 kilogrammes.

Il a été employé dans la construction de l'église de la Trinité, Saint-Augustin etc.

### XI. — *Banc royal de Vierzy.*

C'est un calcaire tendre, jaunâtre, non gélif, blocs de toutes hauteurs et dimensions, se sciant à la scie à dents.

Poids du mètre cube ; 1800 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 70 kilogrammes.

### XII. — *Pierre grasse de Saint-Leu de Laigneville et de Neuilly-sous-Clermont.*

Le *Saint-Leu* ou pierre grasse est un calcaire tendre jaunâtre, homogène et très fin, formé principalement de débris de coquilles ou de moules brisées, pilés et tellement fondus dans la masse qu'ils ne se distinguent pas. De la facilité qu'il a de s'écraser sous le marteau et de s'attacher aux outils, les ouvriers l'ont appelé *pierre grasse.*

On ne peut l'employer en mauvaise saison.

La masse a de 4 à 5 mètres de hauteur et se divise en blocs de $0^{m},70$ à $1^{m},50$

Une de ses qualités est de bien conserver sa nuance à l'air, en se couvrant d'une couche plus dure.

Poids du mètre cube, 1800 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré ; 70 kilogrammes.

Nomenclature des pierres de la Société Civet, Crouet, Gautier et C^ie^, établie suivant l'ordre adopté dans la série de la Société centrale des Architectes (édition 1889).

| NUMÉROS de série et prix de taille | | NOMS | PROVENANCE et lieux d'expédition | QUALITÉ. |
|---|---|---|---|---|
| | fr. | | | |
| 1 | 19 30 | Chateau-Landon | S et M (gare et port de Souppes) | Liais |
| | | Corgoloin | Cote-d'Or (gare de Corgoloin) | » |
| 2 | 15 45 | Comblanchieu | » | Roche |
| | | Souppes | S. et M. (gare de Souppes) | » |
| 3 | 12 55 | Vilhonneur | Charente | » |
| 4 | 10 60 | Victoire (Senlis) | Oise (Senlis) | » |
| 5 | 9 65 | Euville | Meuse (Commentry) | » |
| | » | Larrhys du Bief | (Yonne) (gare et port de | Liais |
| | » | Ravière | Ravières) | Roche |
| | » | St. Maximin (Roche fine) | Oise (gare de Saint Maximin | » |
| | | | et port de Saint Leu) | » |
| 6 | 7 70 | Courville | Marne | » |
| | » | La Ferté-Millon | Aisne (gare de la Ferté Milon) | » |
| | » | Lerouville | Meus (gare de Lerouville) | » |
| | » | Saint-Maximin | Oise (gare et port de Saint | » |
| | | | Maximin) | |
| 7 | 4 85 | Abbaye du Val | Oise (gare de Mériel) | Banc franc |
| | » | La Ferté Milon | Aisne (gare de La Ferté) | » |
| | » | Isle-Adam | S. et O. (gare de l'Isle-Adam) | » |
| | » | Méry | Oise (gare et port de Méry) | » |
| | » | Palotte | Yonne | » |
| | » | St. Maximin (Libage-ferré) | Oise (gare et port de Saint | » |
| | | | Maximin | Banc royal |
| 8 | 3 15 | Jouy-le-comte | Oise (Port de Jouy) | |
| | » | Méry | Oise (gare et port de Méry) | » |
| | » | Presles | Oise (gare de Presles) | » |
| | » | Rousseloy | Oise (gare de Cires-les-Mello) | » |
| | » | St. Leu-de-Laigneville | Oise (gare de Creil) | » |
| | » | St. Maximin | Oise (gare et port de Saint | » |
| | | | Maximin) | » |
| | » | Saint-Vaast | Oise (gare de Cramoisy) | » |
| | » | Vassens | Aisne (port de Vic-sur-Aisne) | |
| | » | Vierzy | Aisne (gare de Vierzy) | » |
| 9 | 1 75 | Carrière-Saint-Denis | S. et O. (gare de Houille) | Vergelé |
| | » | Laigneville | Oise (gare de Creil) | » |
| | » | Neuilly-sous-Clermont | Oise (gare de Liancourt) | » |
| | » | Parmain | Oise (gare de l'Isle-Adam) | » |
| | » | Rousseloy | Oise (gare de Cires-les-Mello) | » |

## § III. — SOSIÉTÉ ANONYME DES CARRIÈRES DU POITOU

La Société anonyme des carrières du Poitou exposait sur la berge du Trocadéro près du pont d'Iéna, dans la classe 63, divers échantillons des pierres extraites de ses carrières.

Les carrières de la Société sont, en les classant suivant la nature des matériaux qu'elles fournissent :

*Pour les roches dures :*

Lussac-les-Châteaux ; Bonnillet ; Breuil ; Chauvigny, Forges-Moulismes.

*Pour les roches mi-dures :*

Forges-Moulismes ; Bonnes ; Tercé ; Lavoux ;

*Pour les roches douces :*

Tercé ; Lavoux.

*Pour le banc royal :*

Château-Gaillard.

### I. — *Lussac-les-Châteaux.*

Situation géographique. — La carrière de Lussac-les-Châteaux est ouverte sur la commune de ce nom, à une distance de 1 500 mètres environ de la gare expéditrice de Lussac, sur le chemin de fer de Poitiers à Limoges.

Nature du gisement. — La masse exploitée a 5 mètres de puissance; elle appartient au terrain jurassique, étage bajocien de l'oolithe inférieure. La hauteur des bancs varie de $0^{m},50$ à $1^{m},30$.

Propriétés. — La pierre est un calcaire dur, blanc, grisâtre, à grain fin, homogène, prenant parfaitement toutes les tailles, et pouvant s'employer en marches, perrons et bordures de trottoirs.

Poids spécifique du mètre cube : 2 360 à 2 380 kilogrammes.

Résistance à l'écrasement par centimètre carré : 500 à 510 kilogrammes.

### II. — *Bonnillet.*

Situation géographique — Les carrières de Bonnillet sont situées sur la commune de Chasseneuil, à 4 kilomètres du bourg de ce nom, et à 7 kilomètres de la gare expéditrice de Poitiers.

Nature du gisement. — Il n'y a qu'un seul banc d'exploité. Ce banc a de 3 à 4 mètres de puissance, et on peut en extraire des blocs de toutes dimensions.

Propriétés. — La pierre est un calcaire dur, blanchâtre, à grain fin, homogène avec lamelles disséminées.

Poids spécifique du mètre cube, de 2100 à 2140 kilogrammes.

Charge d'écrasement par centimètre carré, de 190 à 200 kilogrammes.

Elle a été employée dans de nombreux monuments, tant à Poitiers qu'à Paris à Bordeaux, Limoges, Le Mans, Nantes, etc., etc.

## III. — *Breuil.*

Situation géographique. — La carrière du Breuil est située sur la commune de Bonnes, à 3 kilomètres de la station de Chauvigny, sur la ligne de Poitiers au Blanc, et à 26 kilomètres de la gare de Poitiers.

Nature du gisement. — On exploite en cavage une masse de 6 à 7 mètres de puissance, étage bathonien de la grande oolithique. Cette masse est comprise entre un toit de silex blanc très dur et une couche inférieure qui lui sert de mur remplie de nœuds, et par suite impropre à la construction. Les bancs exploitables ont le plus souvent $0^m,41$ à 1 mètre de hauteur; mais les joints sont tellement serrés, qu'il est impossible d'obtenir des blocs de grande dimension, ayant l'épaisseur de deux assises réunies.

Propriétés. — Cette pierre est un calcaire oolithique miliaire, d'une belle couleur blanche, semi-cristallin, dur, à grain fin, régulier, et surtout homogène. Elle est propre à toutes les tailles, et peut recevoir les plus fines moulures. Elle est classée de premier choix pour les travaux d'architecture.

1° Poids spécifique du mètre cube : 2200 à 2300 kilogrammes;

2° Charge d'écrasement par centimètre carré : 250 à 450 kilogrammes.

Cette pierre a été employée dans le cimetière du Père Lachaise, dans plusieurs maisons de l'avenue de l'Opéra.

## IV. — *Chauvigny.*

Situation géographique. — La carrière de Chauvigny, située sur la commune de ce nom, se trouve à l'endroit appelé la Croix-Blanche. Elle est à 27 kilomètres de Poitiers, à 14 de la gare de Lhommaizé.

Nature du gisement. — Les bancs exploités appartiennent à l'étage bathonien de la grande oolithe. On extrait des blocs de toutes dimensions. La masse a 7 ou 8 mètres de puissance.

Propriétés. — C'est un calcaire dur, très sonore, formé d'oolithes fines et régulières, unies par un ciment semi-cristallin ; elle est très homogène et de qualité supérieure, facile à tailler, et se prêtant bien aux formes les plus délicates

des moulures. Cette pierre peut être employée en soubassement; elle peut fournir des tambours de grandes dimensions pour colonnes, socles, marches et balcons.

1° Poids spécifique du mètre cube : 2 310 à 2 500 kilogrammes :

2° Résistance à l'écrasement par centimètre carré : 200 à 300 kilogrammes.

Cette pierre n'est pas gélive. Elle a été employée à la restauration du château d'Amboise, à la construction de la gare d'Orléans, etc., etc.

M. Daligaut, entrepreneur de travaux publics, l'a employée, en 1887, pour les cariatides sculptées de la façade du théâtre de la Porte-Saint-Martin, à Paris.

## V. — *Forges Moulismes.*

Situation géographique. — Cette exploitation est ouverte sur la commune de Saltes-en-Coulon, et ses produits sont conduits par terre à la gare de Lhommarzé, sur le chemin de fer de Poitiers à Limoges, distante de 4 kilomètres.

Nature du gisement. — Les bancs appartiennent à la grande oolithe; ils fournissent trois qualités :

1° *Banc blanc;*

2° *Banc gris ;*

3° *Banc blanc grené.*

Ces bancs servent à des usages différents.

Propriétés. — D'après les expériences faites à l'École nationale des Ponts et Chaussées, on a trouvé que les résistances à l'écrasement étaient :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pour le banc | blanc grené, | 395 | kilogrammes; |
| — | gris, | 246 | — |
| — | blanc, | 178 | — |

Le *blanc grené* et le *gris* servent en soubassement et en première assise : ils fournissent aussi des balcons, et sont susceptibles de recevoir un certain poli. Le *blanc* convient aux élévations et pour des travaux de sculpture.

## VI. — *Bonnes.*

Situation géographique. — Les carrières de Bonnes sont situées sur la commune de ce nom, à une distance de 20 kilomètres environ de la gare de Poitiers, et à 3 kilomètres de la station de Jardres.

Nature du gisement. — On exploite actuellement des bancs d'une puissance de 6 mètres, appartenant au terrain jurassique. La hauteur des assises varie de $0^m,50$ à $1^m,30$. La pierre est un calcaire demi-dur à grain très fin, serré et homogène, qui peut être employé pour balcons, colonnes en première et seconde assise.

## VII. — *Tercé.*

Situation géographique. — La carrière de Tercé, située sur la commune de ce nom, est à 7 kilomètres de la gare de Fleuré, et à 5 kilomètres de la station de Jardres, (fig. 1).

Nature du gisement. – Calcaire oolithique, demi-dur, à grain très fin, serré et homogène. On exploite une série de bancs d'une puissance totale de 12 mètres, et même de 14 mètres. A l'extraction, ont obtient des blocs variant d'une hauteur de $0^{m},60$ à $1^{m},50$.

Poids du mètre cube : 2400 kilogrammes.

Résistance par centimètre carré : 190 kilogrammes.

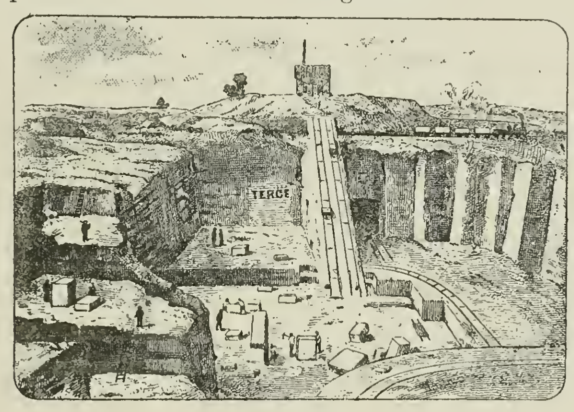



FIG. 1

Cette pierre n'est pas gélive, mais elle craint l'humidité, et ne doit être employée qu'à $0^{m},50$ du sol.

Cette pierre a été employée à l'Hôtel de Ville, aux Tuileries, à la Banque d'Escompte, au Crédit Lyonnais, etc.

Le Christ en croix, du cimetière de Saint-Ouen, a été taillé dans un morceau cubant 9 mètres, et pesant 22500 kilogrammes.

## VIII. — *Lavoux.*

Situation géographique. — Les carrières de Lavoux sont situées sur la commune de ce nom, et forment quatre exploitations, ouvertes dans un rayon de 2 kilomètres. Elles sont à une distance de 12 kilomètres environ de la gare de Poitiers, et à 3 kilomètres de la station de Jardres.

Nature du gisement. — C'est un calcaire demi-dur, formé de grains oolithiques imperceptibles, parsemés de fines lamelles cristallines, blanc, serré et homogène. Elle se taille très facilement, et se débite de même à la scie à dents.

Dans cette pierre, on distingue :

1° Le *Lavoux à oolithes très régulières;*

2° Le *Lavoux dit banc royal de Chauvigny;*

3° Le *Lavoux à construction.*

Ce dernier est généralement employé en élévation tout de suite au-dessus du socle. Le premier Lavoux est employé pour les pierres tombales; le second, pour la statuaire.

Propriétés. — La hauteur des bancs varie de $0^{m},50$ à $1^{m},20$.

Poids du mètre cube : 24 000 kilogrammes;

Résistance par centimètre carré : 149 kilogrammes.

Cette pierre a été employée à la construction de la nouvelle gare d'Orléans à Paris.

## XI. — *Château-Gaillard.*

Situation géographique. — La pierre, dite de Château-Gaillard, est extraite des carrières de Lourdines, situées sur la commune de Migné, à 2 500 mètres au nord du village (fig. 2).

Nature du gisement. — On exploite en cavage une série de bancs appartenant au terrain jurassique, étage callovien. Les quatre premiers ont de $0^{m},65$ à $0^{m},85$ d'épaisseur; le cinquième, dit *banc de 5 pieds*, a 1 mètre à $1^{m},70$ d'épaisseur, et le sixième banc a de $0^{m},55$ à $0^{m},60$ de hauteur. Les autres dimensions n'ont d'autres limites que celles qui résulteraient des difficultés d'extraction.

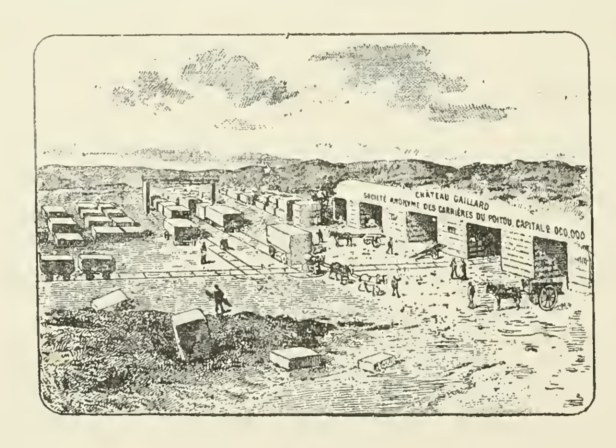



FIG. 2

Les quatre premiers, de $0^{m},55$ à $0^{m},65$ d'épaisseur, sont ceux ordinairement employés en élévation. Le sixième banc est particulièrement employé dans les voûtes de passages et aux nervures des voûtes d'arêtes, et le banc de 5 pieds, d'une beauté remarquable, constitue une pierre de premier choix pour les travaux spéciaux de sculpture et d'ornementation.

Propriétés. — Cette pierre est un calcaire tendre, d'une belle couleur blanche et remarquable par sa finesse et son homogénéité, aussi bien que par sa résistance moyenne à l'écrasement; elle se taille bien, conserve sous le ciseau des arêtes vives et nettes, et se débite très facilement à la scie à dents. Elle conserve bien sa nuance à l'air.

Poids spécifique du mètre cube ; 22000 kilogrammes ;

Résistance par centimètre carré : 143 kilogrammes.

Cette pierre a été employée au château des Tuileries, et dans de nombreux hôtels privés.

La Société anonyme des Carrières du Poitou a obtenu une médaille d'argent à l'Exposition universelle de 1889.

## § IV. — CARRIÈRES DE CHOMÉRAC (ARDÈCHE)

### PROPRIÉTÉ DE MM. PRADELLE FRÈRES

La maison Pradelle frères, de Chomérac (Ardèche), exposait dans la classe 63, galerie des Machines, des plaques en marbre polies et grésées, des blocs de pierres

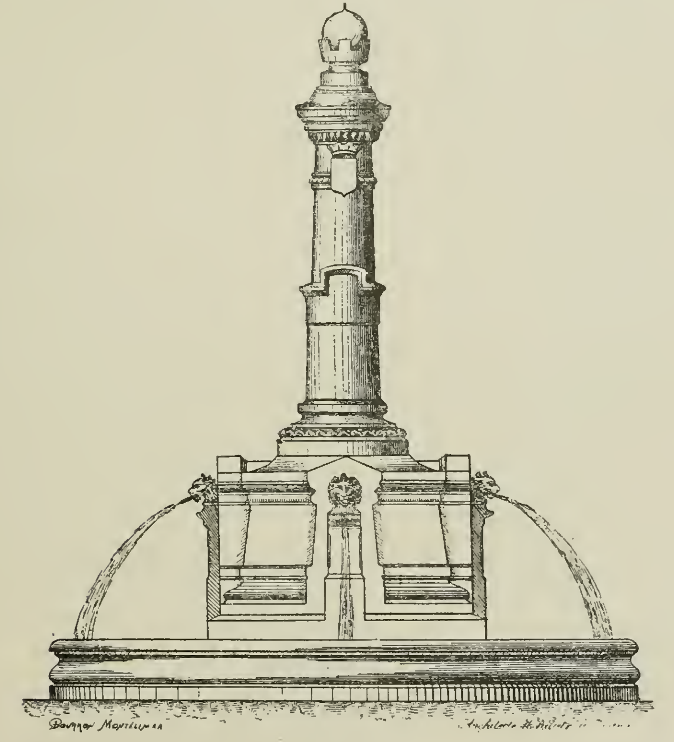


FIG. 3

brutes et ébauchées. Sur la berge des Invalides, elle avait édifié une fontaine monumentale, surmontée de monolithe (fig. 3). Ce monument, d'un style

fantaisiste, était composé des diverses assises des carrières de Chomérac. Le socle ainsi que la colonne provenaient du banc Turquin. Le beau monolithe, sur lequel les têtes de lions étaient sculptées, appartenait au banc des Grignes.

MM. Pradelle frères ont obtenu une médaille d'argent.

## I. — *Historique.*

Les carrières de Chomérac ont été, depuis fort longtemps, exploitées comme pierre de taille.

La carrière passa successivement des mains de Castelano à celles de Quiot et de Rauc, qui appliquèrent les méthodes d'exploitation aujourd'hui encore en usage.

En 1856, une compagnie anglaise s'empara de la carrière, dont les produits servirent à la construction des ouvrages d'art de la ligne de Lyon à Marseille (rive gauche).

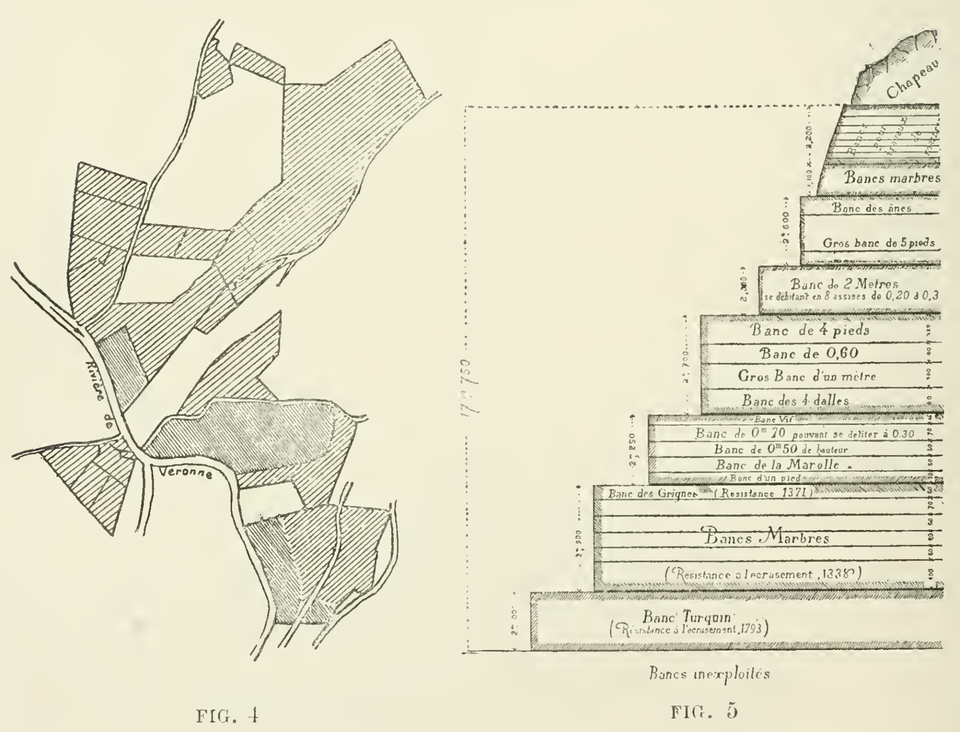



FIG. 4 FIG. 5

Plus tard, les carrières prirent de l'extension et passèrent aux mains d'industriels français. Nous donnons (fig. 4) un relevé du plan cadastral, ainsi qu'une coupe verticale des carrières de Chomérac (fig. 5) ; ces dernières comprennent un espace de plus de 20 hectares.

## II. — *Carrières et méthode d'exploitation.*

Les carrières de Chomérac sont situées à l'ouest de la ville du même nom, et commencent à 200 mètres à peine du centre de cette ville, à 2 kilomètres de la gare, et tout à côté de la route départementale de Privas.

Les chantiers d'exploitation s'étendent actuellement sur plus d'un kilomètre de longueur. Les carrières sont composées d'un grand nombre de bancs, et présentent des lits de stratification horizontaux très réguliers entre leurs assises successives. Elles sont ouvertes dans les assises supérieures de l'étage jurassique. Elles entament les terrains kimmeridgien et portlandien. Dans l'épaisseur de certains bancs, les innombrables fossiles, disposés dans tous les sens, font tellement corps avec le marbre, qu'ils n'apparaissent qu'au polissage des blocs, et quelquefois sous les formes les plus bizarres. La *faune* de la partie inférieure des carrières est caractéristique du terrain kimmeridgien. Au-dessus de ces couches, on a trouvé, il y a quelques années, au niveau d'un banc à *téréhatula janitor*, une mâchoire de sphœrodus gigas. Les dents, de forme régulièrement ronde, mais légèrement aplaties, mesuraient 15 millimètres de diamètre.

On y trouve encore toute la faune caractéristique du terrain *lithonique* ou *portlandien.*

Quoique le gisement de Chomérac ait une grande étendue, les points d'attaque permettant l'installation d'un chantier sont en nombre limité, à cause surtout de la découverte considérable qu'il y aurait à faire pour arriver aux bancs exploitables. Cette découverte porte le nom de *chapeau*, et, comme non seulement il n'est pas propre à la taille, mais que son enlèvement occasionne des frais considérables, l'exploitation devient à peu près impossible partout, en dehors des chantiers actuels.

FIG. 6

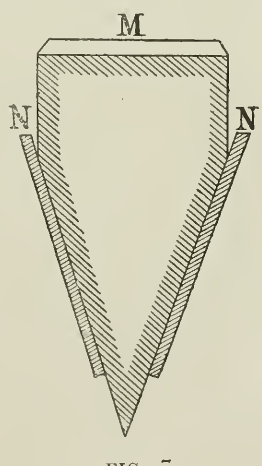



FIG. 7

Dans l'exploitation, on procède par gradins droits. Il existe dans chaque banc des cassures verticales ayant une direction quelconque comme orientation, mais se poursuivant en ligne droite sur une longueur considérable. Ces lignes prennent le nom de *routes*, et ce sont ces routes qui sont prises comme direction des gradins droits.

Chaque gradin, considéré isolément, est exploité de la façon suivante :

On conduit toujours l'abatage de 2 bancs simultanément. Ainsi dans la disposition indiquée ici, en supposant (fig. 6) la couche n° 5 comme seuil de carrière, on attaque en même temps les assises 1 et 3. Pour les enlever, on commence par pratiquer au ciseau des entailles coniques appelées *emboîtures* (A) et (B) sur toute la longueur du bloc à abattre qui se trouve fréquemment entre deux routes $x$ et $y$. Ces entailles seront donc suivant les lignes MN et PQR, et mutuellement elles sont pratiquées au lit de stratification séparant le banc inférieur du banc à soulever.

Leur nombre et leurs dimensions sont déterminées par les chefs carriers, d'après les conditions particulières à chaque cas.

Quand ces entailles horizontales sont terminées, on fixe, d'après la dimension du bloc à soulever, une ligne AB ou A'B' suivant laquelle on pratique des *emboîtures* normales au bloc.

Dans chacune de ces emboîtures on place ensuite des coins en acier de la forme indiquée (fig. 7) M, ainsi que des cales en tôle (N) destinées à produire le serrage et à empêcher la projection des coins sous l'impulsion du recul des coups de masse.

Ces coins sont ensuite frappés avec de gros marteaux, à grands coups jusqu'à ce qu'il y ait dislocation du bloc qu'on amène au moyen de crics, sur le banc n° 5, où il est livré aux carriers et aux tailleurs de pierre. Lorsque l'opération est faite pour les bancs 1 et 3, on attaque de la même façon les n$^{os}$ 2 et 4, etc.

Un bloc ainsi amené au pied du front de taille sur la plate-forme de la carrière est soumis à l'opération du tranchage qui consiste à le diviser en morceaux ayant les dimensions demandées par la construction. Ce tranchage s'exécute comme l'abatage en pratiquant des emboîtures sur les lignes horizontales et verticales, déterminées par les dimensions à obtenir. Vient ensuite le *demisage*, consistant à séparer le bloc en plusieurs tranches minces s'appropriant exactement aux dimensions du commerce. Enfin, le bloc grossièrement équarri est livré à la taille proprement dite.

Les calcaires de Chomérac sont excessivement durs et compacts et leur couleur est gris-bleu foncé.

Leur résistance est considérable à l'écrasement, elle atteint 1 800 kilogrammes par centimètre carré. Ils résistent très bien à la gelée et à toutes les intempéries. Nous donnons deux vues des principaux travaux exécutés avec la pierre de

Chomérac, l'une représente la fontaine monumentale de Montélimar et l'autre celle de Valence (fig. 1 et 2, pl. 1 et 2).

La fontaine de Montélimar est établie au milieu d'un bassin octogonal de $8^{m},50$ de diamètre intérieur et de $0^{m},75$ de hauteur. Elle se compose de quatre vasques inférieures de $1^{m},80$ de largeur et à pans coupés, reposant chacune sur une grande console de $2^{m},10$ de hauteur, appuyée contre le piédestal de la fontaine ; ces quatre vasques sont alimentées par une vasque supérieure de $2^{m},10$ de largeur recevant l'eau d'un vase de $1^{m},10$ de hauteur qui surmonte le monument. De plus l'eau jaillit directement dans le bassin par quatre figures symboliques représentant les quatre saisons. La hauteur totale du moment est de $6^{m},50$. Le cube de marbre employé est de 46 mètres.

La dépense totale a été de 17 000 francs.

Le tableau suivant donne les dimensions et les cubes des principales parties formées d'un seul bloc.

| DÉSIGNATION DES PARTIES | Longueur | Largeur | Hauteur | Cube |
|---|---|---|---|---|
| Base du piédestal. . . . . . . | $1^{m}72$ | $1^{m}72$ | $0^{m}62$ | $1^{m}83$ |
| Piédestal { Sole. . . . . . . . . | 1 56 | 1 56 | 0 60 | 1 46 |
| Piédestal { Dé . . . . . . . . . | 1 56 | 1 56 | 0 80 | 1 95 |
| Piédestal { Dé . . . . . . . . . | 1 20 | 1 20 | 0 60 | 0 86 |
| Bassin : Morceau du milieu de chaque pan coupé. . . . . . . . . . | 2 80 | 0 32 | 0 90 | 0 81 |
| Consoles des vasques inférieures (chacune) . . . . . . . . . . . | 2 10 | 1 25 | 0 55 | 1 44 |
| Vasques inférieures (chacune dans le piédestal . . . . . . . . . . | 2 20 | 2 20 | 0 55 | 2 66 |
| Vasque supérieure . . . . . . . | 2 10 | 2 10 | 0 50 | 2 20 |

La fontaine de Valence a une base de forme circulaire. Sur des bases de formes différentes se trouvent des rangées de vasques étagées qui surmontent en son milieu un vaste bassin. Supportés par des consoles allégoriques, dans l'axe de chacune des faces, se trouvent quatre griffons qui couronnent un socle quadrangulaire, surmontant les vasques supérieures.

Au-dessus du socle, une colonne à chapiteau corinthien sert de support à une statuette qui représente un génie. Les griffons qui font l'ornement principal du monument tiennent sous leur griffes les écussons des quatre arrondissements du département de la Drôme (Valence, Die, Montélimar et Noyons). Les consoles qui les supportent représentent la figure allégorique du Rhône projetant l'eau

dans les vasques supérieures d'où elle s'échappe par douze macarons (têtes de lions) pour alimenter les vasques inférieures ; le trop plein de ces dernières retombe dans le grand bassin en forme de nappe dessinant ainsi les grandes lignes du monument.

La pierre est d'un bleu uniforme, sans mises ni délits. Les arêtes sont vives et franches et les joints malgré ces blocs de fortes dimensions ont à peine une ouverture de $0^{m},0025$ à $0^{m},005$.

La masse des vasques est de $4^{m3},455$ avec des dimensions de $3^{m},30$ en longueur, de 3 mètres en largeur et de $0^{m},45$ d'épaisseur. Les piliers circulaires sur lesquels reposent les vasques sont de la même pierre, ont une hauteur de $0^{m},90$, une largeur, à la partie moulurée d'en haut, de $1^{m},05$ et un diamètre de $0^{m},32$ à $0^{m},50$ environ du lit de pose.

Le calcaire dont est formée cette fontaine est très résistant au ciseau, mais n'éclate pas. Le monument comporte à sa base des blocs de $2^{m3},660$ et de $2^{m3},106$. Chacune des petites vasques cube $1^{m},188$. La hauteur totale de la fontaine monumentale est de 12 mètres.

## § V. — CARRIÈRES DE L'ÉCHAILLON, PRÈS GRENOBLE (ISÈRE)
### (G. BIRON, PROPRIÉTAIRE EXPLOITANT).

M. G. Biron exposait, dans la classe 41, des blocs très jolis de pierres extraites de ses carrières. Il a obtenu une médaille d'argent.

M. Biron extrait trois sortes de pierres de ses carrières :

1° L'échaillon blanc ;

2° L'échaillon rose ;

3° L'échaillon jaune ;

### I. — *Echaillon blanc.*

Le pic de l'Echaillon, commune de Saint-Quentin, département de l'Isère, à 18 kilomètres de Grenoble, se relie au dernier anneau de l'immense chaîne des Alpes. On y retrouve des traces très apparentes d'exploitation remontant à la domination romaine. L'antiquité et la continuité de ses produits se trouvent prouvées par les dates suivantes :

La crypte de Saint-Laurent à Grenoble, monument du III$^{e}$ siècle est ornée de plusieurs fûts de colonne en échaillon. Les arêtes en sont encore vives, les moulures entières, le grain de la pierre pur et lisse, quoique le monument soit resté enfoui dans un sol humide jusqu'au commencement de ce siècle. Ces colonnes proviennent évidemment d'un ancien temple païen, bien antérieur. Ce

monument antique, en France, a été restauré sous l'habile direction de M. Mauguin, architecte des monuments historiques.

Le Moyen-Age et la Renaissance ont puisé amplement dans cette magnifique carrière. La cathédrale de la ville de Grenoble, monument d'époque romane est ornée à sa base de nombreux fragments de l'Echaillon, tels que piliers et nervures conservés en parfait état.

Le couvent de Montfleury a possédé une ancienne chapelle du temps des Dauphins aujourd'hui détruite ; on retrouve dans les ruines des tronçons de balustres, des chapiteaux, des trèfles en échaillon rose brisés, mais d'un travail bien conservé.

La chapelle du palais de justice, ancien palais des Dauphins, du XV[e] siècle, possède une belle façade encore intacte.

L'antique château d'Uriage, bâti par l'illustre famille des Alleman, qui a donné le jour à la mère du chevalier Bayard, présente sa porte d'honneur ogivale du XV[e] siècle (1).

La carrière d'Echaillon a fourni les matériaux pour l'ornementation du jardin de la ville de Grenoble, pour l'arc de triomphe élevé à la principale entrée de cette ville, en 1620, par le connétable de Lesdiguières, en l'honneur de Louis XIII.

Vers la fin du XVIII[e] siècle, cette carrière cessa d'être exploitée ; l'Isère, se jetant contre le rocher, la rendit inaccessible.

En 1826, on put reprendre quelques travaux. En 1845, une grande route départementale fut créée.

Cette pierre peut remplacer le marbre de Carrare pour l'aspect ; elle est homogène, ne se délite pas, et peut, par conséquent, être employée dans tous les sens. Sa dureté tient le milieu entre le liais et la roche ; c'est une des meilleures pierres pour la sculpture. Elle est susceptible d'un beau poli. Certaines variétés sont d'un très beau blanc. On l'emploie dans les constructions soignées pour les entrées de portes-cochères.

*Position géologique, nature et qualités.* — La pierre de l'Echaillon est un calcaire pur ou légèrement magnésien, mais nullement argileux, moitié crayeux, moitié cristallin. Il est formé presque entièrement de débris de polypiers pierreux et d'autres corps marins, convertis par fossilisation en calcaire cristallin ; la partie pierreuse qui remplit les interstices n'est probablement que le résultat de la strituration des mêmes fossiles. C'est donc un calcaire éminemment *corallien*, et il appartient à l'étage des terrains jurassiques désigné spécialement sous ce nom.

D'après sa pesanteur spécifique, la pierre blanche de l'Echaillon a un coeffi-

(1) Ce château appartient aujourd'hui à M. le comte Sibend de Saint-Ferriol.

cient de résistance bien au-dessus de la moyenne. Traitée à outrance comparativement avec d'autres pierres, par le procédé de M. Brard, pour reconnaître jusqu'à quel degré elle pourrait être atteinte par la gelée, il a été constaté qu'elle pouvait être classée parmi les meilleures pierres sous ce rapport. Le grain est fin et serré ; par sa blancheur et sa dureté, elle est d'un grand emploi, non seulement pour les ouvrages d'architecture, mais encore pour ceux de sculpture tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, ainsi que pour les dallages et compartiments.

Le poids du mètre cube est d'environ 2 526 kilogrammes et la résistance par centimètre carré est de 833 kilogrammes en moyenne.

Une importante scierie, des tours polissoirs, rôdoirs, machines à moulures (le tout mû par la vapeur) ont été établis au pied même de la montagne du flanc de laquelle sont extraits les blocs.

*Emplois divers du calcaire de l'Echaillon.* — Outre la construction, il y a d'autres emplois de la pierre blanche d'Echaillon. Cette dernière se dissout entièrement dans l'acide chlorhydrique. Elle est formée de carbonate de chaux pur mêlé d'un carbonate de magnésie, environ 2 ou 3 %. Elle donne 44 % de son poids en gaz acide carbonique, lorsqu'elle ne contient que du carbonate de chaux pur. Le carbonate de magnésie, dont elle est plus ou moins mêlée, ne peut qu'augmenter cette proportion de gaz. L'expérience a démontré qu'on recueillait, dans ce cas, 45 % d'acide carbonique.

La dolomie grise, grenue, ayant l'aspect d'un grès qui se trouve à l'échaillon, au-dessus de la pierre blanche, se dissout aussi sans résidu notable dans l'acide chlorhydrique, et elle consiste en une combinaison de carbonate de chaux et de carbonate de magnésie, la proportion de ce dernier pouvant s'élever jusqu'à 46 %. Cette dolomie peut servir à la préparation de l'acide carbonique. On obtient une dissolution de sulfate de magnésie qu'il suffit de décanter et d'évaporer pour faire cristalliser. 100 de dolomie peuvent donner jusqu'à 134 de sulfate de magnésie cristallisé. Le sulfate de magnésie ainsi obtenu sert pour la fabrication de l'eau de Sedlitz.

Une usine spéciale à vapeur est également construite pour la trituration du calcaire blanc de l'Echaillon avantageusement employé dans la fabrication des verres.

## II. — *Echaillon rose.*

Tout près du point d'exploitation de la pierre dont il vient d'être parlé, il en existe une autre désignée sous le nom d'*échaillon rose.* Elle est un peu plus dure que la précédente et se polit très bien. Le marbre rose de l'Echaillon a été employé pour un grand nombre d'édifices. Il appartient au même gisement que la pierre blanche. Il contient des noyaux blancs. Ces noyaux ne sont

*Tableau extrait des expériences faites au Laboratoire de l'Ecole des Ponts-et-Chaussées.*

| N^os D'ORDRE | DATES des expériences | PROVENANCE et nature des échantillons | LONGUEUR en centimètres | LARGEUR en centimètres | HAUTEUR en centimètres | POIDS du mètre cube | FORCE portative de l'échantill. | FORCE portative par centimètre carré | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 2 avril 1863 | Echaillon blanc n° 1 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2515.63 | 15261.064 | 953.82 | Carrière de l'Echaillon, commune de Saint-Quentin (Isère). |
| 2. | » | Echaillon rose n° 2 | 4.0 | 3.6 | 4.0 | 2461.81 | 8724 764 | 605.89 | Même carrière. |
| 3. | » | Marbre jaune clair, dit roche de l'échaillon n° 3 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2654.69 | 13627.864 | 851.74 | Carrière de Liguet, commune de la Rivière (Isère). |
| 4. | » | Même marbre n° 1 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2742.19 | 13627.864 | 851.74 | Carrière de Revon, commune de la Rivière (Isère). |
| 5. | 23 janvier 1863 | Echaillon blanc n° 1 | 4.0 | 4.0 | 4.5 | 2426.39 | 10163.064 | 635.19 | Employé aux bassins du rond-point des Champs-Elysées. |
| 6. | 29 avril 1863 | Echaillon blanc n° 1 | 4.0 | 4.1 | 4.0 | 2475.61 | 13503.964 | 823.35 | Employé par M. Vossy-Durand, marbrier au cimetière du Sud. |
| 8. | 8 mai 1863 | Echaillon blanc n° 1 | 4.0 | 4.0 | 4.0 | 2520.00 | 10277.264 | 642.33 | Employé au château de Bagatelle au Bois-de-Boulogne. |

autre chose que des polypiers convertis en calcaire cristallin. La pâte est celle de la pierre blanche ; elle est colorée par des particules d'oxyde de fer anhydre ou hydraté.

### III. — *Echaillon jaune.*

A 14 kilomètres environ du même point d'exploitation, la maison Georges Biron possède une carrière de pierre dite *échaillon jaune*. Cette pierre est susceptible d'un beau poli et ressemble au marbre dit *Brocatelle*.

Nous donnons plus loin un tableau extrait des expériences faites au laboratoire des Ponts et Chaussées sur les produits de la maison G. Biron.

## § VI. — EXPLOITATION DES CARRIÈRES ET SCIAGE DES GRANITS, PIERRES ET MARBRES PAR LE SYSTÈME DU FIL HÉLIÇOIDAL

Sur la berge de la Seine, côté des Invalides, classe 63, on pouvait voir fonctionner les appareils qui font l'objet de brevets appartenant à la Société anonyme internationale du fil héliçoïdal.

Le fil héliçoïdal formait une cordelette sans fin animée en même temps, d'un mouvement continu et d'un mouvement giratoire. Il était dirigé d'abord de la poulie motrice à l'extrémité des chantiers sur un appareil tendeur. En revenant il débitait une pierre qui en raison de poulies à rotules, pouvait être placée dans une direction quelconque, et qui représentait le bloc placé dans toute espèce de direction qu'il s'agirait de détacher, par le sciage, de la masse de la carrière.

Dans un atelier adjacent, cette cordelette, avant de repasser sur la poulie motrice, était employée à scier un bloc de marbre.

A côté fonctionnait une armure dans laquelle les scies à lames étaient remplacées complètement par une série de fils héliçoïdaux ; puis un appareil à adoucir, analogue à ceux dont on se sert pour polir les glaces et qui utilisait des agglomérés métalliques d'une composition spéciale. A l'extérieur, dans le chantier, marchait une perforatrice tubulaire qui servait à creuser dans la roche les puits verticaux destinés à recevoir les montants sur lesquels les poutres porteuses du fil héliçoïdal descendaient au fur et à mesure que celui-ci pénétrait dans la pierre. Cette perforatrice recevait son mouvement par un câble télodynamique. La force motrice nécessaire à tout le travail était fournie par une locomobile de 15 chevaux environ.

Le fil héliçoïdal permet de détacher d'un gisement toute la matière utilisable avec le moins de déchet possible et d'obtenir des blocs d'un volume et d'une forme convenables. Il permet une grande économie de main d'œuvre. La masse abattue est découpée et débitée en blocs sur les chantiers, sans qu'il soit nécessaire de les manipuler. Il ne reste plus qu'à les charger sur les wagons.

Les roches les plus résistantes, les conglomérats les plus rebelles à la scie sont coupés par le fil héliçoïdal.

Voici comment ce système est appliqué en Belgique, aux carrières de Traigneaux, carrières de marbre (fig. 1, pl. 3, 4).

On scie la masse suivant les faces non dégagées et on la fait passer ensuite horizontalement.

Aux angles de la masse, on creuse des puits dans lesquels on introduit les montants qui supportent les poulies. Ces trous se font à la perforatrice Thomas. Les diamètres de ces puits varient de 0m,70 à 0m,60.

La perforatrice se compose (fig. 2, pl. 3 4) d'un cylindre en tôle de 3m,50 de hauteur et de 0m,50 de diamètre. Ce cylindre est terminé à sa partie inférieure par une trousse coupante en acier. Cette dernière se remplace au fur et à mesure de son usine. Elle a une épaisseur un peu plus grande que celle du cylindre, pour que la descente du tube soit plus facile. Le cylindre est animé d'un mouvement circulaire qui lui est communiqué par un arbre vertical. La descente s'effectue, par le propre poids du cylindre, dans le trait circulaire obtenu par le rodage de la trousse sous l'action d'un mélange d'eau et de sable. Le cylindre, dans ce mouvement détache un noyau de pierre ou de marbre, qu'on enlève au moyen d'un cabestan. Ce cabestan fait partie de l'appareil.

On peut armer la trousse coupante d'une denture en agglomérés métalliques.

Un bâti formé de trois montants verticaux entoure le tout. Le mouvement est donné à l'arbre de transmission par l'intermédiaire d'une poulie à gorge horizontale et d'un câble télodynamique, qui est guidé à son entrée et à sa sortie de la perforatrice par deux autres poulies à gorge montées sur rotules et placées verticalement. La tension du câble est obtenue par des chariots tendeurs et le mouvement lui est donné par une poulie calée sur l'arbre moteur à l'intérieur du bâtiment.

La perforatrice est facilement transportable ; elle consomme très peu de force motrice, 3 à 3 et demi chevaux-vapeur, tout au plus. Pour creuser un puits ordinaire, il faut une journée de travail. Le tube descend environ de 25 centimètres à l'heure. Les matières ou débris provenant de l'usure de la pierre, s'écoulent de l'intérieur à l'extérieur du tube par des orifices ménagés à cet effet dans la trousse. Si elles s'accumulent en trop grande quantité entre le tube et la pierre, il suffit de relever le tube au moyen du cabestan.

Pour placer les colonnes de support, on pratique 3 trous contigus de 0m,50 et on abat ensuite les arêtes.

On installe la débiteuse. Le trait est déterminé, sous un courant d'eau et de sable, par le mouvement continu et rapide d'une cordelette sans fin. Cette cordelette comprend trois fils d'acier tordus en hélice. Sa longueur varie de 100 à 300 mètres. Elle reçoit son mouvement d'une machine fixe. La tension est obtenue par un chariot tendeur. Le tendeur est placé sur les rails d'un plan incliné. On le charge de poids destinés à faire équilibre à l'effort dû au travail de la cordelette.

La débiteuse se compose de 4 poulies. Ces poulies sont mises en mouvement par la cordelette métallique. Elles reposent sur deux paires de colonnettes. L'écartement de ces dernières varie avec la longueur du bloc de pierre ou de la roche à découper.

Les poulies supérieures restent verticales, mais peuvent néanmoins se mouvoir dans un plan horizontal. Les poulies inférieures sont guidées entre les colonnettes du châssis ; elles peuvent s'abaisser verticalement d'une quantité correspondante à la profondeur atteinte par le trait de scie en provoquant un mouvement ascensionnel équivalent du chariot tendeur. Ce déplacement est automatique.

Les arbres qui supportent ces poulies sont fixés au moyen de coulisses aux extrémités de vis verticales. Les écrous de vis se trouvent au sommet des châssis. Chaque vis est commandée par un levier à deux branches articulées. Ce levier est mû par l'arbre de la poulie supérieure.

A chaque station de l'arbre, un corbeau agencé sur la branche inférieure du levier attaque une roue dentée. Le mouvement de cette roue se transmet à l'aide d'engrenages à la vis de suspension de la poulie mobile. La translation de la scie sera d'autant plus rapide que la branche du levier sera plus courte. On règle la longueur du levier suivant le degré de dureté de la pierre à découper.

Le fil a donc un mouvement de translation et de descente, et un mouvement de rotation sur lui-même, dû à sa forme héliçoïdale.

Le diamètre utile de la cordelette est de 5 et demi à 6 millimètres. L'énergie de la scie croît, en raison du degré de torsion du fil. La vitesse de translation est de 4 mètres par seconde. La rapidité de sciage dans ces conditions est de 10 à 12 centimètres par heure dans les pierres et marbres de Belgique sur les blocs de 3 à 4 mètres de longueur.

La force motrice nécessaire au fonctionnement d'une débiteuse à la roche ne dépasse pas 2 chevaux-vapeur. La durée du fil héliçoïdal, avant usure, produit en moyenne, dans les pierres et marbres de Belgique, environ 20 à 25 mètres de traits ou 40 à 50 mètres de surfaces sciées.

En cas de rupture du câble, la réparation est peu de chose ; on fait une épissure de $1^m,50$ au maximum et on réunit tous les brins bout-à-bout dans les sondes. On rabat les extrémités dans le sens contraire au mouvement pour ne pas le gêner. Après usure, les fils peuvent encore servir comme clôtures, car ils sont

usés uniformément sur tout leur pourtour. Les épissures sont elles-même encore en bon état, au moment où le fil est mis hors d'usage.

Lorsque le quartier de roche est bien isolé, on achève de le détacher du dessous à l'aide de coins et de leviers.

Il est ensuite découpé par une débiteuse en blocs transportables.

Dans cette seconde débiteuse les gorges des 4 poulies sont généralement comprises dans le même plan. Le diamètre du fil est plus faible, 4 à 5 millimètres environ. Sa vitesse est de 4,25 par seconde (fig. 3, pl. 3, 4).

Une armure à fils multiples et parallèles sert à découper le bloc en tranches d'une épaisseur convenable pour le commerce.

Sur divers points de la carrière fonctionnent diverses débiteuses en même temps (fig. 4, pl. 3, 4). Chacune a son fil spécial, qui prend son mouvement sur un arbre moteur à la surface. Ces fils se rendent en premier lieu aux tendeurs établis de l'autre côté de l'excavation, puis reviennent par les chantiers. Des câbles télodynamiques actionnent les perforatrices et autres appareils qui ont besoin de force motrice. Les poulies à rotules permettent de diriger les fils vers un point quelconque des chantiers. Les fils venant de l'arbre moteur sont dirigés vers un poteau distributeur installé au sommet de la carrière. Ces poteaux portent des poulies à double rotule, qui peuvent prendre toutes les directions et toutes les inclinaisons possibles. Elles prennent d'elles-mêmes l'inclinaison commandée par la direction des fils.

Le sciage en tranches minces se fait dans un atelier spécial. Les armures sont constituées par une série de fils parallèles passant chacun sur une poulie séparée et indépendante. Chaque fil a sa tension spéciale. Le diamètre des fils est de $3^{mm},5$ à 4 millimètres. La vitesse est de $4^{m},50$. On descend de 10 à 12 centimètres à l'heure. Le sable est mieux distribué que dans l'usage de la scie à dents. De là un plus grand effet obtenu.

La force motrice nécessaire pour activer une armure de dix fils est de 4 à 5 chevaux. Les fils supplémentaires ne prennent que très peu de force.

Il se produit un certain ballottement latéral, et la surface n'est pas exactement plane, mais toutes ces lignes étant dans le même plan, il suffit de donner aux faces un adouci peu important pour obtenir des surfaces parfaitement dressées.

On évite ces défectuosités par l'usage des agglomérés métalliques. Ces derniers sont formés d'émeri et de métal, le premier servant de mordant, le second de matière agglutinante. On mélange l'émeri avec le métal en fusion. On le coule dans un moule et on lui donne la forme appropriée à l'industrie dans laquelle on doit l'employer.

La composition des agglomérés varie avec l'usage auquel on les destine. Les compositions les plus employées sont :

1° Emeri + plomb + étain + antimoine ;

2° Emeri + laiton + cuivre ;

3° Emeri + fonte de fer.

Pour le marbre on emploie le n° 1.

L'appareil est un polissoir ordinaire à charnières universelles et à plateau. Sous le plateau sont encastrés les agglomérés. Ce plateau est de forme circulaire ; il est évidé en son milieu pour en diminuer le poids mort, et recevoir son alimentation d'eau. Il est relié à un arbre vertical. Cet arbre lui communique son mouvement de rotation par un engrenage conique. La vitesse de l'arbre est de 90 tours à la minute. Le plateau a un diamètre de $1^m,35$. La vitesse à la circonférence est de 381 mètres à la minute. Une vis sans fin donne au plateau un mouvement de va et vient sur toute la surface à polir.

La tranche à dresser et à adoucir est placée sur un wagon plat à crémaillère. Ce wagon est animé d'un mouvement de va-et-vient dans le sens longitudinal de la tranche. Cette dernière reçoit le frottement des agglomérés par trois mouvements différents, produisant d'une manière uniforme l'usine sur toute sa surface.

Un appareil à dresser et à adoucir nécessite une force de 3 à 4 chevaux.

L'appareil héliçoïdal peut servir à actionner une série d'outils moteurs et autres. Il peut être employé chaque fois qu'il est nécessaire de tailler des tranchées dans la roche. On pourrait donc s'en servir pour les tranchées de chemins de fer. On découperait ainsi les matériaux provenant de la tranchée en blocs de dimensions convenables pour la constructiou.

---

# III. — CHAUX ET CIMENTS

## § I. — DÉFINITIONS ET NOTIONS GÉNÉRALES

A. *Classification.* — On trouve dans la nature des mélanges de chaux et d'argile, des calcaires argileux, qui donnent par la cuisson, des produits de propriétés très différentes suivant la composition chimique des matières soumises à l'action des fours, et suivant les conditions de fabrication. On peut également soumettre à la cuisson, des mélanges artificiels de carbonate de chaux et d'argile. Si l'on retire du four les pierres cuites d'où l'acide carbonique a été chassé, et si, après avoir immergé pendant quelques instants ces pierres dans un vase rempli d'eau, on les abandonne ensuite à l'air, on constate les résultats suivants :

1° Dans certains cas les pierres se gonflent, décrépitent et tombent en poudre, avec dégagement de chaleur. Sous l'action de l'eau, on fait avec cette poudre

une pâte onctueuse. Si on ajoute un excès d'eau, cette pâte s'y dissout entièrement. Elle durcit au contact de l'air en passant à l'état d'hydrocarbonate.

On donne le nom de *chaux grasse* à ce produit.

2° Dans d'autres cas, les pierres ne se réduisent en poudre sous l'action de l'eau qu'après un temps assez long, et avec beaucoup de difficultés. La pâte est moins onctueuse. Elle ne se dissout pas dans un excès d'eau, et acquiert au contraire sous l'eau, une dureté suffisante pour résister à la pression du pouce appuyé avec la force moyenne du bras.

Ce sont les *chaux hydrauliques.*

3° Enfin, certaines pierres cuites ne sont pas susceptibles de s'éteindre sous l'eau, et pour les réduire en poudre il faut avoir recours à des moyens mécaniques. Deux poudres gâchées font prise sous l'eau en quelques minutes ou au plus en quelques heures. Elles y acquièrent une très grande dureté.

Ce sont les *pierres à ciment.*

4° Il existe certains *produits naturels* qu'on peut reproduire *artificiellement* et qui, gâchés isolément avec de l'eau, ne sont pas susceptibles de donner des pâtes faisant prise sous l'eau, mais communiquent cette propriété aux chaux grasses avec lesquelles on les mélange dans des proportions convenables.

Ces corps sont désignés sous le nom de *pouzzolanes.*

On donne encore le nom de *chaux limites* à des chaux qui font prise à la façon des ciments, mais se désagrègent par la suite.

On appelle chaux *maigres,* des chaux qui se comportent comme les chaux grasses, mais laissent un résidu notable lorsqu'on les dissout dans une eau renouvelée.

| DÉSIGNATION DES PRODUITS | | PROPORTION SUR 100 DE CALCAIRE | | INDICES d'hydraulicité |
|---|---|---|---|---|
| | | ARGILE | CARBONATE de chaux | |
| Chaux | Grasse ou maigre. . . | de 0,00 à 5,3 | de 100,0 à 94,7 | de 0,004 à 0,10 |
| | Faiblement hydraulique . | de 5,3 à 8,2 | de 94,7 à 91,8 | de 0,10 à 0,16 |
| | Moyennement hydraulique | de 8,2 à 14,8 | de 91,8 à 83,2 | de 0,16 à 0,31 |
| | Hydraulique proprem. dite. | de 14.8 à 19,1 | de 85,2 à 80,9 | de 0,31 à 0,42 |
| | Eminemment hydraulique. | de 19,1 à 21.8 | de 80,9 à 78,2 | de 0,42 à 0,50 |
| | Limite ou ciment à prise lente . . . . . . . | de 21,8 à 26,7 | de 78,2 à 73,3 | de 0,50 à 0,60 |
| Ciment | A prise rapide . . . . | de 26,7 à 40,0 | de 73,3 à 60,0 | de 0,65 à 1,20 |
| | Maigre . . . . . . . | de 40,00 à 62,6 | de 60,0 à 37,4 | de 1,20 à 3,00 |
| Pouzzolane . . . . . . . . . . | | au-dess. de 62,6 | au-dess. de 37,4 | au-dess. de 3,00 |

Vicat a analysé chimiquement ces différents produits, et il a trouvé en proportions variables de l'argile et du carbonate de chaux. Il en a tiré cette conclusion que l'argile est la cause de l'hydraulicité des chaux et ciments. Il a classé ces produits suivant leur degré d'hydraulicité et d'après le rapport de la dose d'argile à la somme des doses d'argile et carbonate de chaux. On préfère aujourd'hui considérer *l'indice d'hydraulicité*, c'est-à-dire le rapport de la somme de la silice et de l'alumine à la quantité de chaux. On a donc dressé le tableau ci-contre.

De l'analyse, Vicat passa à la synthèse, et reconstitua ces différents produits. On peut reproduire artificiellement les chaux hydrauliques et les ciments. On a pu ainsi faire des ciments à prise prompte (quelques minutes) appelés *ciments Romains*, et des ciments à prise lente (quelques heures) dénommés ciments Portland, en raison de la similitude de teinte qu'ils présentent avec la pierre de Portland (Angleterre).

Ces découvertes de Vicat ont permis d'utiliser les surcuits des fabriques de chaux et de ciments, et par un traitement convenable, de les transformer en *chaux lourdes, ciments de grappiers*, etc. Elles ont permis aussi de ralentir, par un mélange approprié avec des grappiers, la prise des ciments trop prompts et d'en faire, par ce moyen, des ciments à *prise demi-lente*, qu'on ne peut obtenir que rarement de certaines pierres naturelles à ciment.

Enfin, en mélangeant dans des proportions convenables de la chaux grasse ou hydraulique avec des laitiers de hauts-fourneaux on a pu obtenir des ciments, genre Portland, qu'on a désigné sous le nom de *ciments de laitiers.*

Ces fabrications artificielles de produits hydrauliques, ont amené les ingénieurs, dans les conférences de Munich (24 septembre 1884), et de Dresde (21 septembre 1886), à dresser une nouvelle nomenclature des produits hydrauliques, basée sur le mode de fabrication, mode qui influe beaucoup sur la nature des produits. Dans certaines usines la limite inférieure d'indice d'hydraulicité des ciments à prise lente a pu être abaissée de 0,50 à 0,44. Cette classification laisse de côté les chaux grasses ou maigres, les chaux lourdes et les ciments de grappiers. Elle laisse confondus les portlands naturels et les portlands artificiels. Elle pose une limite supérieure (0,60) à l'indice d'hydraulicité de ces ciments, mais n'indique pas d'indice minimum. D'après les conférences de Munich et de Dresde, les produits hydrauliques doivent être classés de la façon suivante :

1° *Chaux hydrauliques ;* 2° *Ciments romains* ; 3° *Ciments portlands ;* 4° *Pouzzolanes ;* 5° *Ciments pouzzolanes.*

Les *chaux hydrauliques* sont obtenues par la cuisson de calcaires plus ou moins riches en argile (ou silice).

Les *ciments romains* sons obtenus par la cuisson de terres argilo-calcaires au-dessous du point de ramollissement.

Les *ciments portland* sont obtenus par la cuisson des mêmes produits pous-

sée jusqu'à ramollissement. Ils contiennent 1.7 de chaux pour 1 partie en poids de facteurs hydrauliques. Pour régulariser des propriétés importantes, on peut additionner des matières étrangères jusqu'à 2% en poids, sans changer de dénomination.

Les *pouzzolanes* sont des matières naturelles ou artificielles qui ne font pas prise, lorsquelles sont isolées, mais rendent hydraulique la chaux grasse, lorsqu'on les mélange avec elle.

Les *ciments pouzzolanes* sont obtenus par le mélange intime de chaux éteinte avec la poussière de pouzzolane.

Les *ciments mixtes* sont obtenus par le mélange de ciment avec des corps appropriés, tels que les grappiers, etc.

B. — *Fabrication.* — *Fours.* — En général les *chaux* sont obtenues par la cuisson des calcaires naturels. Les fours sont à courte flamme continus ou intermittents. Leur section horizontale est circulaire, leur forme ovoïde.

La plupart des *ciments à prise prompte* sont obtenus par la cuisson de roches naturelles. Les fours sont continus et à courte flamme. La cuisson se fait à une température modérée, de telle façon qu'on n'atteigne pas le point de fusion ou de ramollissement.

Les *portlands* sont obtenus par la cuisson jusqu'à commencement de ramollissement de mélanges artificiels de chaux ou de carbonate de chaux et d'argile. Le mélange des matières premières se fait par *voie humide* ou par *voie sèche.*

Dans le procédé par *voie humide*, dit également de la *simple cuisson*, l'eau intervient au début des opérations pour faciliter le mélange. On emploie de grands bassins, dits *bassins mélangeurs*, où les matières sont triturées par des râteaux ou des herses à fortes dents. Puis, la boue passe dans des *bassins doseurs* où se fait la vérification, puis dans des bassins d'évaporation, où elle se solidifie complètement. La pâte déposée est enlevée ensuite à la bêche en mottes que l'on soumet à une dessiccation partielle à l'air libre. On la transforme ensuite en briquettes régulières au moyen de moules en bois, qu'on porte au séchoir.

Dans le procédé par voie sèche, dit également de la *double cuisson*, on n'a recours à l'eau que pour agglomérer les poudres et les mettre à l'état de pains. Vicat avait adopté cette méthode lors de ses premiers essais au pont de Souillac. Le calcaire est d'abord cuit et réduit en poudre par l'extinction. On mélange ensuite la poudre à l'argile. On forme des briquettes qui sont séchées et portées au four. La masse argileuse dont un fait usage peut-être primitivement cuite et réduite en poudre avant son mélange avec la poudre de chaux grasse. Quelquefois même, on ne pousse pas la cuisson du calcaire jusqu'à décomposition, on se contente de le dessécher de manière à ce qu'il puisse être broyé facilement sous des meules et réduit en une poudre destinée à un futur mélange avec l'argile, et conservée à cet effet dans des magasins spéciaux.

Les fours sont de forme ovoïde, surmontés d'un dôme. Ils sont à courte flamme et à feu discontinu à cause de la température élevée à obtenir. On recueille les gaz chauds et on les entraîne dans des carneaux disposés pour chauffer des séchoirs à pâte.

*Extinction. — Broyage.* — A cause de l'augmentation considérable de volume que prend la *chaux grasse* à son extinction, cette dernière est livrée en pierres aux constructeurs. Si l'on ajoute, immédiatement en effet, toute l'eau nécessaire pour constituer la pâte, on obtient un volume de pâte plus grand que si l'on avait d'abord éteint la chaux en poudre.

Il n'en est pas de même de la *chaux hydraulique*. Elle fournit la même quantité de pâte quelle que soit la méthode employée pour y incorporer l'eau. La *chaux hydraulique* est mise dans des fosses ; on l'arrose au moyen de pommes d'arrosoir. Elle est jetée ensuite dans de vastes hangars appelés *chambres d'extinction*, où elle se réduit en poudre spontanément.

Pour les *ciments romains*, l'extinction est remplacée par le broyage sous des meules verticales circulant dans une auge.

Pour les *ciments Portland*, ce broyage est précédé d'un triage qui élimine les parties non scorifiées. Le broyage se fait à l'aide de laminoirs ou de broyeurs à boulets.

*Blutage.* — La poudre obtenue par extinction ou par broyage est blutée.

Pour les *chaux hydrauliques*, on se sert de tamis cylindriques.

Pour les *ciments* on se sert de tamis cylindriques tournants, entourés de toile suffisamment fine.

*Silotage.* — Les *chaux hydrauliques* exigent un temps de silos assez long, pour permettre aux grains d'extinction trop lente d'achever leur pulvérisation.

On admet généralement que le *ciment à prise prompte* doit être ensaché sans silotage, cependant il est prudent, pour éviter les chances de fendillement dans les enduits, de le laisser reposer quelque temps.

Comme la chaux hydraulique, le *ciment Portland* est généralement conservé un certain temps en silos. Pour éviter le temps perdu par le silotage, les ingénieurs du nord de l'Europe ont admis que les fabricants pourraient ajouter aux roches de ciment, 2 % de matières étrangères destinées à régulariser les propriétés des ciments obtenus.

*Grappiers.* — On donne le nom de *grappiers* aux *incuits* et aux *surcuits* que l'on trie des pierres argilo-calcaires à leur sortie des fours. Les *incuits* sont rejetés. Ils ne sont d'aucune utilité.

Les *surcuits* sont broyés et mélangés en proportions convenables avec de la chaux pour faire des produits plus ou moins hydrauliques.

*Ciments de laitiers.* — Certains laitiers de hauts-fourneaux ont des propriétés pouzzolaniques, qui permettent de les utiliser à la fabrication des produits hydrauliques.

On les refroidit brusquement (granulation) en les immergeant dans des cuves pleines d'eau. Les laitiers se divisent en gravillons poreux qu'on recueille et qu'on dessèche au moyen d'appareils spéciaux.

Le laitier granulé est réduit en poudre fine et bluté. On le mélange ensuite en proportion déterminée avec des chaux en poudre dans des appareils à boulets. On obtient ainsi un bon ciment très homogène.

C. — *Emploi.* — Les chaux et les ciments sont quelquefois gâchés et appliqués à l'état de *pâte ferme*, sans addition de matières étrangères, notamment pour les enduits et les dallages. Le plus souvent ils sont employés à l'état de *mortiers*, c'est-à-dire, mélangés avec du sable et de l'eau. Les mortiers additionnés de cailloux cassés ou de graviers constituent les *bétons*.

Les mortiers de chaux grasse ou hydraulique et de ciment portland se font dans des tonneaux broyeurs ; on peut en préparer une certaine quantité à l'avance. Il n'est pas de même des *ciments romains*, dont les mortiers doivent être faits en petite quantité à la fois, à cause du délai très court de la prise.

Les mortiers ont des qualités variables suivant la nature des éléments qui les composent et suivant les circonstances de leur fabrication et de leur emploi.

La proportion des trois éléments qui constituent un mortier, chaux ou ciment, sable et eau, doit être réglée avec le plus grand soin, afin que ce mortier réponde le mieux possible aux conditions de son emploi. On détermine le volume des vides dans 1 mètre cube de sable, et le volume en litre de pâte donné par 1 kilogramme de poudre. Les mortiers sont sujets à des altérations dont les causes peuvent résider, soit dans la nature propre de la chaux et du ciment, soit dans l'action des milieux où ils se trouvent, tels que l'eau de mer.

Les *bétons*, étant généralement employés dans les endroits humides se font rarement en chaux grasse. Ils sont fabriqués dans des appareils appelés *betonnières*. Ce sont généralement des coffres verticaux en bois ou en fer, pourvus à l'intérieur de plans inclinés ou de barres de fer dont les directions se contrarient. Les matières premières, mortiers et cailloux, sont versées à la partie supérieure, et tombent pêle-mêle en se mélangeant à travers les obstacles qu'elles rencontrent.

La nature des pierres a une certaine influence sur la nature des bétons. L'eau de mer les désagrège. Aussi ne sont-ils employés que dans les fondations où ils sont généralement peu exposés à l'action des agents extérieurs.

D. — *Essai.* — Il est nécessaire de se rendre compte, par des expériences de laboratoire, de la qualité des chaux et des ciments employés dans les travaux. Les conférences de Munich et de Dresde, le cahier des charges des travaux des

ports de Boulogne et de Calais en ont fixé les règles d'une façon précise. La plupart des essais prescrits ont plutôt pour but de s'assurer que les produits ont été fabriqués dans des conditions convenables, que de constater qu'ils possèdent telle ou telle qualité de résistance qui n'est mise en jeu qu'à un faible degré dans les constructions.

L'*analyse chimique* paraît devoir rester un des moyens de contrôle le plus efficace. Le cahier des charges de la fourniture des ciments pour les ports de Calais et de Boulogne a stipulé des limites quant à la proportion des divers éléments qu'elle révèle. C'est ainsi qu'il refuse tout ciment contenant plus de 1 % d'acide sulfurique ou des sulfures en proportion dosable. Même prohibition à l'égard de tout ciment contenant plus de 4 % d'oxyde de fer, ou donnant une valeur inférieure à $\frac{44}{100}$ pour le rapport entre le poids total de la silice combinée avec l'alumine d'une part, et d'autre part le poids de la chaux.

La *durée de la prise* est un procédé encore en usage. Malheureusement, elle est influencée par de nombreuses circonstances. Le temps écoulé depuis la fabrication jusqu'à l'essai et les conditions dans lesquelles les produits se sont trouvés pendant cette période de temps, sont autant de quantités inconnues pour les expérimentateurs. Pour rendre ce genre d'essai plus précis, on étudie l'allure de la prise en mesurant, à divers instants, la quantité dont une aiguille chargée s'enfonce dans une masse de pâte de forme et de profondeurs données, en se servant au besoin d'aiguilles à charge variable. On distingue de la prise proprement dite, le commencement de la prise, qui a lieu, lorsque l'aiguille ne peut plus pénétrer que de quelques centimètres dans la pâte. L'aiguille est une aiguille à tricoter de $0^m,0012$ de diamètre, limée suivant un plan perpendiculaire à son axe et chargée d'une masse de plomb portant son poids à 300 grammes.

Les conférences de Munich et de Dresde ont institué des essais particuliers pour déterminer la *force d'adhérence* des mortiers aux pierres et aux briques. Cet essai est très délicat.

Quant à la *finesse de mouture*, on n'est pas fixé sur l'intérêt que peut présenter ce genre d'essais. Le cahier des charges de Boulogne ne fixe aucune limite à cet égard. Les tamis réglementaires employés à ce genre d'essais sont de 900 et de 5000 mailles.

Pour la *densité*, on n'est pas encore bien d'accord. La densité ordinaire d'une poudre varie énormément avec son degré de tassement. Il faut donc, définir de la façon la plus rigoureuse la méthode à suivre pour la déterminer d'une manière précise. Les dispositions du cahier des charges de Boulogne et de Calais sont très explicites à cet égard. Toutes les précautions sont prises pour que les essais soient comparables et fassent connaître la densité minima, c'est-à-dire celle correspondant au maximum de tassement.

Les essais à la *compression, à la traction et à la flexion* sont encore ceux

auxquels on attache le plus d'importance. Les essais à la compression, quoique se rapprochant le plus des conditions de la pratique, sont moins employés que les essais à la traction, parce que ces derniers sont d'une exécution plus facile. On moule suivant des formes déterminées des briquettes ayant 16 centimètres de section, et même, depuis quelque temps, 0m,05 (fig. 1, pl. 5, 6) (machine Michaëlis). Les extrémités de la briquette sont prises entre deux mâchoires en métal. L'une de ces mâchoires est fixe, l'autre mobile à l'extrémité d'un double levier. La rupture est produite en versant des grains de plomb dans un petit seau suspendu au grand bras du levier. Les prescriptions pour la confection des briquettes ont été établies d'une façon très stricte dans les conférences de Munich et de Dresde et par le cahier des charges des ports de Calais et de Boulogne. Les essais se font sur des briquettes de ciment pur et sur des briquettes en mortier d'une composition parfaitement déterminée.

On fait aussi des essais pour constater l'action de l'eau de mer sur les mortiers. Il y a en effet le plus grand intérêt, pour les travaux à la mer, à déterminer la porosité et la perméabilité des mortiers. L'eau de mer attaque les mortiers ; la magnésie, qu'elle renferme déplace la chaux qui est entraînée à l'état de chlorure et de sulfate, dont une partie, restant dans la masse, détermine des gonflements redoutables. On fait des briquettes variant entre elles et par la nature des éléments qui les composent, et par le malaxage. On les fait pénétrer par l'eau de mer sous des charges variables et on examine la manière dont elles se comportent sous l' action du liquide ; mais il n'est pas possible d'établir des règles fixes, car on n'a pas encore fait un nombre d'expériences suffisant pour permettre de se prononcer définitivement sur les effets de l'eau de mer, et sur les conditions que doivent remplir les mortiers qui sont soumis à son action.

Toutefois, la question des ciments, chaux et mortiers a fait de notables progrès depuis 1878 ainsi qu'il ressort des communications faites au Congrès des Procédés de constructions en 1889.

## § II. — CONGRÈS DES PROCÉDÉS DE CONSTRUCTION

Pendant l'Exposition universelle de 1889, il s'est tenu à Paris, du 9 au 14 septembre, un congrès international des procédés de construction. Nous donnerons ci-après un extrait des procès-verbaux d'après le compte rendu de MM. A. Moreau et G. Petit, secrétaires du Congrès.

Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, le champ des questions qui se rattachent aux chaux, ciments et mortiers est vaste. Le Congrès a traité seulement les questions d'un intérêt général et pour lesquelles il serait à désirer qu'il se fît une entente internationale. La classification des produits livrés au commerce, les fabrications de ces produits, l'utilisation des grappiers, le dosage des mortiers, leurs altérations, telles furent les questions soumises au Congrès, qui eut

en outre à se prononcer sur les meilleurs méthodes de contrôle des matériaux employés.

D'éminents ingénieurs ont pris successivement la parole.

M. Bonami, ancien conducteur des Ponts et Chaussées, a fait parvenir au Congrès une intéressante communication sur les produits hydrauliques dans l'hypothèse des expansifs. D'après lui, il y a lieu de considérer deux sources de désagrégations des mortiers :

1° Désagrégation causée par les agents extérieurs ;

2° Désagrégation causée par un travail moléculaire intérieur.

1° *Désagrégation par les agents extérieurs.* — Cette destruction du mortier est due à l'action dynamique des intempéries, jointe à l'action dissolvante de l'eau. A ce point de vue la valeur d'un produit dépendra non seulement de l'indice d'hydraulicité $\frac{\text{argile}}{\text{chaux}}$ mais aussi de l'indice de porosité $\frac{\text{vides}}{\text{pleins}}$, car la surface du contact avec les agents destructeurs variera proportionnellement à ce rapport. Dans un même milieu, un mortier à faible indice de porosité et à faible résistance pourra périr beaucoup moins rapidement qu'un mortier à fort indice de porosité et à forte résistance.

2° *Désagrégation par le travail moléculaire intérieur.* — Tout produit sortant des fours renferme une certaine quantité de matière susceptible de travailler sous l'action de l'eau en développant de la chaleur, comme la chaux anhydre. C'est ce qu'on appelle *des expansifs.* Chaque molécule traverse deux périodes, la période d'*inertie* et la période d'*activité.* L'intervalle entre les deux est très variable.

La période d'inertie est directement proportionnelle à la cuisson et à l'indice d'hydraulicité, et inversement proportionnelle à l'état de division de la matière et à la quantité d'eau. Il en est de même de la période d'activité.

L'influence de la cuisson peut être mesurée par un poids $\pi$ d'un même combustible brûlé par tonne de calcaire.

Sous cette influence, la pierre passe par différents états :

1° Expulsion de l'acide carbonique, de l'eau hygrométrique et de combinaison.

2° Fritte;

3° Vitrification ;

4° Scorification.

$\pi$ varie en raison inverse de l'indice $\Gamma$.

Dans les ciments et les chaux, la prise est due fréquemment à l'action des expansifs.

Tout produit hydraulique doit être considéré, au moment de l'emploi, comme formé de deux parties :

1° Matière active donnant naissance à la force de cohésion P (affinité chimique, capillaire, force cristallographique en empâtement par l'argile gélatineuse).

2° Matière expansive donnant naissance à la force de désagrégation Q.

Les chaux à indice inférieur à 0,42, convenablement traitées, font exception et présentent une résistance croissante jusqu'à la résistance finale.

La résistance et l'indice de porosité dépendent du rapport $\frac{P}{Q}$. Si les expansifs travaillent pendant la prise, si l'on a continuellement $P < Q$, la porosité est considérablement augmentée, la gangue ne pourra pas se solidifier, c'est-à-dire acquérir la cohésion à partir de laquelle elle ne peut plus changer de forme sans se briser.

Si la solidification peut s'opérer, la désagrégation partielle ou totale se produira lorsqu'on aura $Q > P$. Le produit périra.

Si l'on a continuellement $P > Q$, le produit est très résistant, mais l'action de Q n'en existe pas moins à l'état latent et il faut en tenir compte.

La désagrégation causée par le travail intérieur compromet la stabilité, et ouvre une large voie aux agents destructifs extérieurs. Le travail extérieur ne s'effectuant que sous l'eau, il faut employer des matériaux de faible indice de porosité. On ne doit utiliser que des produits dans lesquels les expansifs ne travaillent pas pendant la prise, c'est-à-dire les chaux hydrauliques proprement dites et les ciments portlands provenant de calcaires permettant, par des précautions particulières d'éviter l'action des expansifs, d'accumuler définitivement Q ou de faire en sorte qu'il soit toujours très petit par rapport à P. Il faut de plus que la prise soit suffisamment prompte pour éviter d'avarier le produit par la carbonatation et que la poudre ne renferme pas des excès de carbonate de chaux et d'insolubles, qui diminueraient l'énergie des mortiers.

La détermination de la valeur d'une chaux comprendra donc :

1° Détermination de l'instant où cesse la période d'activité du produit placé dans les conditions de la pratique.

2° Détermination de l'allure de la prise au moyen de l'aiguille d'enfoncement à poids variable ;

3° Détermination de la proportion d'insolubles dans les acides ;

4° Détermination de la proportion de carbonate de chaux

$$(CaO, CO^2) = (28 + 22).$$

Une bonne chaux doit avoir un coefficient de porosité assez faible, une période d'activité cessant avant la prise, la prise ne durant pas plus de trois jours, et contenir au plus 1,5 % d'insolubles et 4 % d'acide carbonique.

Un bon mortier doit contenir :

1° Une quantité d'eau qui, par rapport au poids de poudre introduit, correspond au maximum d'énergie de la pâte ;

2° Une quantité de pâte égale au volume minimum des vides du sable ;

3° Et avoir le maximum de densité au tassement de son poids.

Ce résultat est obtenu, mais d'une manière très onéreuse, avec les ciments portlands; on l'obtient plus économiquement avec les chaux hydrauliques proprement dites bien fabriquées qui présentent une énergie relativement grande et un fort rendement en pâte, mais dans l'établissement du dosage il y a lieu de tenir compte de la proportion d'insolubles et de carbonate de chaux. Toutefois le rapport du poids de poudre au poids d'eau qu'il est nécessaire d'introduire pour obtenir l'énergie maxima augmentant sensiblement avec le poids du mètre cube de poudre au tassement naturel, le volume réel de poudre contractée est sensiblement plus fort avec 1000 kilogrammes de ciment qu'avec 1000 kilogrammes de chaux; ceci tient à ce que le poids du mètre cube de chaux ou de ciment au tassement naturel varie de 600 à 1000 kilogrammes, tandis que la densité des poudres ne varie que de 2,80 à 3,10.

L'indice de porosité diminue naturellement lorsque la densité augmente. Un mortier confectionné avec une chaux dont la période d'activité cesse avant la prise, est d'autant plus résistant dans l'eau que son indice de porosité est plus faible. A l'air, la diminution de l'indice de porosité n'entraîne pas toujours, pendant les premiers mois, une augmentation de résistance, car le durcissement par la carbonatation est d'autant plus lent que l'indice de porosité est plus faible.

De là il résulte que les sables irréguliers conviennent parfaitement pour les travaux immergés, tandis que les sables réguliers sont préférables pour les travaux à l'air.

Un calcul de mécanique permet de trouver *a priori* ces résultats (fig. 2. pl. 5, 6).

Soit $r$ la résistance au centre d'une briquette de section carrée $a^2$, et R la résistance à la surface; en admettant que l'augmentation de résistance soit proportionnelle à la distance au centre, cette résistance sera :

$$r + \left[\frac{2(R - r)}{a}\right] x$$

à une distance $x$ du centre, la résistance totale R' sera représentée par :

$$R' = \int_o^{\frac{a}{2}} 8 \left[r + \frac{2(R - r)}{a} x\right] x \, d\, x$$

ce qui donne après intégration et réduction, la constante étant nulle

$$R' = \frac{1}{3}(2\,R + r)\,a^2 \quad \text{ou} \quad R' = \frac{1}{3}(2\,R + r)$$

par unité de surface.

Il en serait de même si la section était circulaire.

Comme la résistance $R_1$ d'une briquette immergée est la même en chaque point dans les premiers temps, pour que cette briquette soit plus résistante qu'une briquette conservée à l'air, il suffit qu'on ait :

$$R_1 > \frac{1}{3}(2\,R + r)$$

*v* sera d'autant plus petit que *a* sera plus grand, il ne sera donc pas avantageux d'adopter de fortes sections pour les produits purs séjournant à l'air et expérimentés après quelques mois seulement.

Un petit appareil permet de se rendre compte du travail moléculaire dans les gangues (fig. 3, pl. 5-6) hydrauliques, et de s'assurer s'il y a travail moléculaire au début de la prise. L'appareil se compose d'un tube de verre VV terminé par une poire B en caoutchouc. On remplit l'appareil de mercure ; immédiatement après gâchage, on introduit la poire dans la gangue. Les oscillations de la colonne mercurielle indiquent les contractions de la poire. Un petit tube conique en métal fermé à la partie inférieure et rempli de mercure plonge dans la gangue. Le thermomètre T qui plonge lui même dans le mercure indique la température intérieure et permet de faire les corrections qui sont habituellement négligeables avec les produits à prise lente et à prise demi-lente.

## II

L'influence dans les mortiers de ciment, de la *nature du sable*, du *dosage* et du *gâchage*, a été l'objet d'un débat entre MM. Candlot et Feret.

M. Candlot, Ingénieur chimiste, soutient que les meilleurs sables à employer sont les sables siliceux, bien propres, présentant des grains à angles vifs. La finesse du grain diminue la résistance et l'adhérence du mortier et le rend trop perméable. Un mortier gâché avec un sable fin contient toujours une grande quantité de vides malgré un dosage élevé en ciment. M. Feret, chef du laboratoire des Ponts et Chaussées, à Boulogne-sur-Mer, croit au contraire que le volume des vides est indépendant de la grosseur des grains du sable. Si on prend différents échantillons de sable dans lesquels les grains sont absolument de même grosseur, les vides qu'ils présenteront d'un échantillon à l'autre ne différeront que par leurs dimensions, mais *au total* ils seront les mêmes.

D'après M. Candlot, le dosage pour obtenir un mortier plein avec des sables de différentes grosseurs, doit être de 500 à 600 kilogrammes de ciment pour un mètre cube de sable. M. Feret croit que cette proportion doit être variable. Le volume des vides du sable sec varie suivant le tassement qu'on lui imprime et peut différer dans une très large mesure de celui qui reste entre les grains du même sable réduit à l'état de mortier par l'introduction du ciment et de l'eau, et

le malaxage plus ou moins prolongé de la pâte ainsi obtenue. Une humidité de 20 % suffit pour abaisser le poids du mètre cube de sable de 269 kilogrammes. La richesse du mortier obtenu sera différente suivant que le sable auquel on mélangera un même poids de ciment sera sec ou un peu humide.

En ce qui concerne le gâchage, M. Candlot trouve préférable de l'opérer avec excès d'eau que d'en employer trop peu. Les mortiers, gâchés mous, durcissent lentement et arrivent au bout de quelques mois à la consistance voulue. Les mortiers gâchés ferme, c'est-à-dire avec un dosage d'eau insuffisant, donnent bien d'abord une résistance élevée, mais, dans la suite elle va en diminuant et peut devenir inférieure à plus de moitié de celle des mortiers à résistance normale.

## III

M. Candlot, Ingénieur chimiste de la Société des ciments français de Boulogne, a traité également l'importante question de la *détermination* de la *qualité des ciments* et de *l'unification des méthodes* et *procédés d'essais*. On peut conclure, à son avis, que les expériences à exécuter sur un ciment doivent être limitées seulement au poids spécifique, à la composition chimique, à la prise à l'eau de mer et à l'eau douce, à la résistance, à la traction, et enfin, à l'épreuve à l'eau chaude. La densité apparente, en effet, donne des résultats trop variables avec le degré de tassement de la poudre. La finesse de mouture est aussi une indication utile, car les résistances élevées qu'on exige du mortier normal ne peuvent être obtenues qu'avec des produits assez finement moulus, et de plus, tous les ciments examinés ont à peu près la même finesse, étant donné les moyens de pulvérisation dont les fabricants disposent aujourd'hui.

La détermination du *poids spécifique* se fait par l'appareil de *Schuman* (fig. 4, pl. 5-6). Cet instrument se compose d'un tube de 50 centimètres de hauteur divisé en dixième de centimètre cube ; la capacité graduée est de 40 centimètres cubes. L'extrémité inférieure de ce tube est rodée à l'émeri et pénètre dans le col d'un flacon assez large, en verre également. Pour déterminer le poids spécifique d'un ciment, on commence par verser de la térébenthine dans l'appareil jusqu'au *o* du tube gradué ; on pèse ensuite très exactement 100 grammes de ciment que l'on introduit dans le tube gradué en versant doucement et à l'aide d'un entonnoir. A mesure que l'on verse le ciment, le niveau du liquide monte dans le tube et lorsque tout le ciment est introduit, on abandonne le tout pendant dix minutes environ pour permettre aux bulles d'air de se dégager. On prend le niveau du liquide dans le tube gradué. Ce chiffre indique le volume exact occupé par les 100 grammes de ciment ; en divisant 100 par le volume

trouvé, on a le poids spécifique. On opère toujours à peu près à la température de 15°.

Dans les essais à l'eau douce, il faut se rapprocher de ce qui se passe en pratique, et concilier les intérêts du consommateur et du fabricant, en étant plu large dans les obligations imposées au producteur et en généralisant les expériences.

Les essais de résistance doivent être faits avec le même type de briquettes et le même genre de machines.

L'essai à l'eau chaude à 70 ou 80°, préconisé par M. Le Chatelier permet de décéler la présence de la chaux libre qui se trouve parfois dans les ciments. Si la quantité de chaux libre dans le produit soumis à l'expérience est très faible, l'eau douce, à la température ambiante, n'aura qu'une action très lente sur elle, et la briquette ne se désagrégera pas de longtemps. Si, au contraire, on plonge l'échantillon dans l'eau chaude à 70 ou 80°, la désagrégation se produira au bout de quelques heures.

A cette communication, M. Debray, Ingénieur des Ponts et Chaussées a ajouté les remarques suivantes : les briquettes du nouveau modèle, c'est-à-dire de 5 centimètres de section, résistent mieux à l'essai de traction, que les anciennes briquettes de 16 centimètres. Ce fait provient de ce que la tension au centre est moindre que la tension sur les bords qui seule produit la rupture. La courbe que prennent les fibres tendues se creusent davantage vers le centre si la section de l'éprouvette est augmentée, et la charge de rupture est alors diminuée.

Si l'on compare la résistance à l'extension avec la résistance à la flexion, les chiffres obtenus comme résistance dans ces deux cas, sont complètement différents et varient dans un rapport qui peut atteindre de 1 à 2 ou même à 3, suivant la forme des briquettes et leurs dimensions.

Dans les essais à l'eau douce ou à l'eau de mer, les bâtons de ciment ou de chaux hydraulique se dilatent. Il est facile de mesurer cette dilatation. L'appareil dont on se sert est un tube de verre de $0^{m},80$ de longueur ; il est fermé à la partie supérieure, mais muni latéralement à la base d'un petit ajutage en verre. Dans ce tube on introduit une baguette en ciment dont la partie supérieure actionne une aiguille qui parcourt un cadran divisé sur un secteur fixé au tube. Si on emplit le tube d'eau douce ou de dissolutions magnésiennes, le ciment se dilate et l'aiguille indicatrice donne avec une amplification de 10 à 1 la mesure de cette dilatation. C'est ainsi qu'en introduisant de l'eau chaude dans l'appareil, on a pu constater que le coefficient de dilatation du ciment était sensiblement égal à celui du fer.

M. Nivet a présenté une trousse complète pour faire les essais des chaux et des ciments sur le chantier. Cette trousse comprend (fig. 5, pl. 5-6) : quatre moules à briquettes, une aiguille de Vicat et un appareil de rupture à la traction, le tout enfermé dans une boîte pesant environ 5 kilogrammes et d'un transport facile ;

la boîte elle même sert de bâti à l'appareil de rupture. La briquette d'essai qui a 50 centimètres carrés de section est prise entre deux mâchoires dont l'une est actionnée par une vis et l'autre liée à un dynamomètre de forme elliptique. Pour les petites forces, l'appareil agit sur le dynamomètre par compression suivant un petit axe, et pour les grandes forces, le dynamomètre est placé à angle droit et sollicité par traction suivant la grandeur. Un cadran calé sur ce dynamomètre porte deux séries de divisions correspondant aux deux modes d'action.

L'aiguille indique le cinquième de l'effort développé, c'est-à-dire la résistance par centimètre carré. Lorsque la rupture se produit, l'aiguille reste fixe ; on lit alors en kilogrammes par centimètre carré l'effort qui a déterminé la rupture. Après chaque opération l'aiguille est ramenée au zéro de la division. Cet appareil possède une exactitude suffisante pour contrôler facilement la qualité et la fabrication des chaux et ciments.

## IV

M. Quinette de Rochemont, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a fait une importante communication concernant l'*action de l'eau de mer sur les ouvrages en béton de ciment de Portland.* Des ouvrages édifiés en Angleterre avec ce mode de construction n'ont pas résisté, et M. Quinette de Rochemont se demande si l'on doit bien accorder une confiance absolue au béton, et s'il ne serait pas bon, dans les ouvrages à la mer, de développer davantage l'emploi des parements en bonne pierre pour protéger la maçonnerie de béton faite à l'intérieur. Cette dernière ne pourrait plus se décomposer parce qu'elle ne serait plus atteinte par l'eau de mer. La décomposition ne pourrait se faire que sur une petite profondeur du joint, et la vase viendrait rapidement remplacer le mortier enlevé. Les mortiers resteraient sains, grâce à l'imperméabilité presque parfaite de la pierre. C'est un fait qu'on a pu constater dans l'ancien port du Havre.

M. Feret, Chef du laboratoire des Ponts et Chaussées à Boulogne-sur-Mer, a signalé les expériences qu'il a entreprises concernant l'action de l'eau de mer sur les mortiers. Il en a conclu que les meilleurs mortiers sont ceux dont les vides ne sont ni trop nombreux ni trop volumineux. Pour arriver à ce résultat il faut employer des sables contenant des grains de différentes grosseurs, dont les plus petits bouchent les vides laissés entre les plus gros. Dans le même ordre d'idées, les bétons les plus compacts et les meilleurs à dosage égal, sont ceux dans lesquels on rencontre des cailloux de dimensions variées.

## V

M. Henry, fabricant de ciment à Donjeux (Haute-Marne), a donné quelques détails sur la fabrication des ciments de laitiers [1]. Le laitier contient environ

1. Voir *Revue technique de l'Exposition universelle de 1889. La Métallurgie* par MM. Hallopeau et Campredon, 4e partie, tome 2, page 105.

15 % d'eau qu'il faut lui enlever par une dessiccation au four. Tous les laitiers ne sont pas propres à la fabrication du ciment. Ils sont d'autant meilleurs au point de vue de cette fabrication et de la résistance finale à obtenir, que le rapport des nombres qui représentent les dosages en chaux et en silice sera plus élevé. Quand ce rapport est égal à l'unité, les propriétés hydrauliques sont faibles et inutilisables. Dans les laitiers basiques de fonte de moulage, le rapport est plus élevé, et l'hydraulicité augmente. Toutefois ce rapport ne dépasse jamais 2.

L'origine même des laitiers assure aux ciments qui en dérivent une grande régularité. Les principaux éléments, chaux, silice, alumine ne présentent pas d'écarts supérieurs à 2 %. Les ciments de laitiers doivent donc prendre place parmi les meilleurs ciments à tous les points de vue.

La fabrication des ciments de laitiers n'arrivera jamais à un grand avenir, étant donné le petit nombre de hauts-fournaux dont les laitiers conviennent à cette industrie, car la production d'un de ces appareils serait d'environ 50 tonnes de ciment par jour, c'est-à-dire 3 % de la production totale du ciment brut en France.

Telles sont les principales questions se rattachant aux chaux et ciments, qui ont été discutées au Congrès des procédés de construction. Le résumé montre combien les ingénieurs ont pris à cœur une étude qui intéresse au plus haut degré l'avenir des constructions modernes. Beaucoup de points n'ont pas encore été complètement élucidés, mais l'état actuel de la science permet d'affirmer qu'ils le seront sous peu. La révision que nous allons faire des principales usines qui avaient exposé leurs produits en 1889, montrera le chemin déjà parcouru et les étapes à franchir encore.

## § III. — CIMENTS VICAT [1]

La Société Vicat avait son exposition au groupe VI, Classe 63, sur la berge de la Seine. Cette exposition consistait en un pont monolithe en béton de ciment artificiel Vicat, et en tuyaux de différents diamètres exécutés en ciment prompt de la Grande-Chartreuse.

On voyait aussi un baril et un sac de chacune des quatre qualités de ciment que fabrique la Société, des morceaux de ciment artificiel Vicat, après la cuisson mais avant la mouture, et enfin, dans des bocaux, du ciment moulu.

La Société Vicat fabrique quatre sortes de ciments :

*Ciment Vicat artificiel à prise lente;*

*Ciment Portland de la Grande Chartreuse;*

1. Voir l'intéressante brochure de M. Gobin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, sur les ciments de l'Isère.

*Ciment prompt de la Grande Chartreuse*;
*Ciment demi-lent d'Uriage.*

La Société a commencé par faire l'artificiel; depuis vingt ans elle fabrique le demi-lent d'Uriage et depuis douze ans le ciment prompt et le ciment Portland de la Grande Chartreuse.

## I

### CIMENT ARTIFICIEL VICAT OU PORTLAND-VICAT A PRISE LENTE.

L'usine où se fait le ciment artificiel, est située au Genevrey, à 5 kilomètres au-delà de la station de Vif, près de Grenoble. Elle fut créée en 1857. On applique le procédé de la double cuisson.

On cuit un calcaire ordinaire à chaux grasse : on éteint et blute la chaux. D'un autre côté, on a fait sécher au four un calcaire argileux contenant 40 % d'argile. On le broie et le blute. On mélange les deux poudres obtenues de manière à avoir 23 d'argile pour 77 de carbonate de chaux (composition des chaux limites). On réduit en pâte le mélange, on moule des briquettes de ce mélange jusqu'à fusion pâteuse. On obtient des frittes qu'on pulvérise et blute, c'est le ciment Vicat.

Il y a trois usines distinctes : l'une où l'on prépare la chaux, une autre où l'on fait cuire et bluter le calcaire argileux, et enfin la troisième où l'on opère et traite le mélange :

1° *Carrières et analyse des calcaires.* — Chaque calcaire a sa propre carrière qui est ouverte dans le flanc de la montagne sur la rive gauche de la Gresse. Nous donnons ci-dessous les résultats des analyses de ces calcaires faites par le laboratoire des Ponts et Chaussées en 1886 :

| | | N° 1 Blanc | N° 2 Gris |
|---|---|---|---|
| A. — Calcaires à chaux grasse. | Résidu insoluble | 1.60 | 3.70 |
| | Alumine et peroxyde de fer | 0.50 | 0.65 |
| | Chaux | 54.20 | 52.95 |
| | Magnésie | 0.30 | 0.25 |
| | Perte au feu et produits non dosés | 43.40 | 42.45 |
| | | 100.00 | 100.00 |

| | | |
|---|---|---|
| B. — Calcaires argileux avant cuisson. | Résidu insoluble / Silice | 29.10 |
| | Alumine / Peroxyde de fer | 2.75 |
| | Chaux | 34.85 |
| | Magnésie | 1.15 |
| | Soufre / Acide sulfurique | 0.45 |
| | Perte au feu et produits non dosés | 31.70 |
| | | 100.00 |

2° *Préparation de la poudre argileuse.* — On cuit le calcaire argileux à température modérée, de manière à ne pas chasser l'acide carbonique. C'est plutôt une dessiccation. Il y a pour cela dix fours à feu continu.

La pierre cuite est de couleur jaunâtre. Elle conserve sa forme primitive sans présenter de parties frittées.

D'après l'analyse faite au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, voic la composition de ce calcaire après cuisson, en 1886.

| | | |
|---|---|---|
| Calcaire argileux cuit. | Résidu insoluble | |
| | Silice | 20.20 |
| | Alumine | 6.45 |
| | Peroxyde de fer | 3.45 |
| | Chaux | 63.30 |
| | Magnésie | 2.10 |
| | Soufre | |
| | Acide sulfurique | 0.95 |
| | Perte au feu et produits non dosés | 3.85 |
| | | 100.00 |

Le calcaire une fois cuit est transporté aux moulins par un câble spécial.

On commence par broyer la pierre dans des concasseurs à mâchoires. On la pulvérise dans des moulins ordinaires à meules en pierre. Chaque moulin est actionné par une force de vingt chevaux. Il y a huit moulins dans l'usine.

Le blutage se fait dans des blutoirs à toile métallique n° 55. L'ensachage se fait dans des sacs d'une contenance de 50 kilogrammes environ. Chaque sac est vidé ensuite dans un silo doseur. On pose le sac sur une espèce de trappe formant pédale dont le mouvement met en jeu un petit appareil qui prélève un échantillon et le vide dans une caisse au moyen d'un conduit spécial. La quantité prélevée à la valeur d'une cuillerée à bouche. Le contenu de la caisse bien mélangé, représente exactement la composition moyenne de la poudre mise dans le silo. Lorsque le silo est rempli, on porte la caisse au laboratoire pour l'analyse.

### 3° *Préparation de la chaux grasse en poudre*

On prépare la chaux grasse en la cuisant dans des fours à feu continu. Après cuisson, on fait le triage des incuits. On transporte la chaux en pierres à l'usine centrale par tombereaux. C'est là que se pratique l'extinction. A cet effet, on verse les fragments de chaux dans des caisses en fer demi-cylindriques percées de trous. Les caisses sont suspendues à de petites grues mobiles, et on procède par immersion. Le contenu des caisses est vidé sur une grille où la chaux s'échauffe et s'éteint rapidement en poudre. Il s'opère un triage, les incuits et les

frittes restent sur la grille et la poudre tombe dans une fosse où s'achève l'extinction. Au bout de six ou sept jours, on vide la fosse au moyen d'une vis héliçoïdale sans fin, à axe horizontal, tournant dans un conduit demi-cylindrique placé au bas de la fosse.

La chaux ainsi conduite arrive à la bluterie. Les blutoirs sont à toile métallique numéro 60. La grille protectrice intérieure destinée à retenir les incuits et les parties non éteintes qui pourraient percer la toile, est formée d'une enveloppe en toile métallique numéro 6.

Les grappiers sont soumis à une nouvelle extinction spontanée de quinze jours qui donne par un second blutage, une nouvelle quantité de chaux en poudre. Les résidus de la deuxième opération sont définitivement rejetés.

Des vis héliçoïdales sans fin conduisent la chaux des blutoirs dans des silos doseurs analogues à ceux de la chaux argileuse.

### 4° *Dosage du mélange des matières*

Pour bien établir dans quelles conditions sera fait le mélange de chaux et d'argile, on commence par prélever dans chacun des silos où se trouvent ces deux matières, un échantillon qu'on analyse. Cette dernière opération faite, on procède au dosage. On prend 100 kilogrammes de calcaire argileux et on calcule le poids de la chaux à ajouter pour avoir la composition exacte du ciment à fabriquer.

Voici comment on opère dans la pratique. On a construit pour cette opération de petits vagonnets tarés. La poudre y est vidée. On fixe le poids de la balance romaine au point voulu. En vidant la deuxième poudre dans la caisse on n'a plus à se préoccuper que de l'équilibre à obtenir, sans avoir aucun chiffre à lire ni aucun poids à déplacer sur la branche de la romaine. On pèse simultanément, sur deux bascules semblables placées à côté l'une de l'autre, 100 kilogrammes de calcaire et une quantité correspondante de chaux. On vide ces poudres en même temps dans un appareil spécial où elles se mélangent intimement.

Après le mélange une hélice prend les matières pour les conduire dans un silo dit *silo de fabrication*.

### 5° *Mélange des matières*

Du silo, la poudre passe dans un demi-cylindre où se meut une vis héliçoïdale sans fin à axe horizontal. Un filet d'eau arrive dans ce récipient et la poudre est transformée en une pâte molle qu'on fait tomber dans des moules rectangulaires.

Ces moules ont $0^m,50$ de largeur, $0^m,07$ d'épaisseur et $0^m,30$ de hauteur. Ils

sont montés par groupe de trente sur de petites voitures à bras. Dressés verticalement, ils présentent leur ouverture à la partie supérieure pour recevoir la pâte qui doit les remplir. On pousse la voiture de manière que la pâte tombe successivement dans chaque moule. On enlève le trop plein à la pelle. On conduit la voiture dans une cour où l'on démoule immédiatement. On empile les briquettes à l'air pour le séchage. On analyse une briquette et on recommence les briquettes, s'il y a lieu. D'après une analyse faite en 1886, au laboratoire des Ponts et chaussées, voici quelle était à cette époque la composition de la pâte à ciment pour trois échantillons :

| | | N° 1 | N° 2 | N° 3 |
|---|---|---|---|---|
| Pâtes à ciment | Sable siliceux . . . . . . . . | 1.85 | 1.55 | 1.20 |
| | Partie argileuse insoluble. . . . | 11.25 | 11.50 | 11.15 |
| | Alumine. . . . . . . . . . | 4.90 | 4.90 | 4.50 |
| | Peroxyde de fer . . . . . . . | 2.10 | 2.05 | 1.85 |
| | Chaux . . . . . . . . . . . | 41.90 | 41.15 | 39.05 |
| | Magnésie . . . . . . . . . | 1.10 | 1.15 | 0.85 |
| | Acide sulfurique . . . . . . . | 0.75 | 0.70 | 0.70 |
| | Perte au feu et produits non dosés. | 36.15 | 37.00 | 40.70 |
| | | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

### 6° *Cuisson*

De la cour de séchage, les briquettes sont conduites aux fours.

Il y a 42 fours intermittents. Leur forme est un cylindre légèrement ovoïde de 2m,50 à 3 mètres de diamètre. La hauteur est de 8 mètres. Au-dessus de la plate-forme du four se trouve une espèce de cylindre de 2m,50 de hauteur terminé en coupole et supportant la cheminée.

On casse préalablement les briquettes de ciment, et, par une large ouverture pratiquée dans la coupole du four, ouverture à porte en fer, on range les fragments par couches alternatives avec de l'anthracite de la *Mure*. On ménage dans la masse deux évents au moyen de deux tubes qu'on remoule à mesure qu'on fait le remplissage et qui laissent à leur emplacement deux vides cylindriques.

Voici comment se règle le mélange du combustible avec les fragments de briquettes : dans le bas, 1/4 ; plus haut, 1/5 ; ensuite 1/6, etc.; à partir du milieu de la hauteur, on procède en sens inverse de manière à avoir la proportion de 1/4 au gueulard.

Pour le dosage, on se sert de corbeilles en osier de contenance déterminée, de manière à correspondre au poids des matières à employer.

### *7° Défournement*

Les matières s'affaissent peu à peu et n'occupent plus à la fin que le tiers du volume primitif; le dessus, qui n'est jamais suffisamment cuit, est enlevé directement par le haut pour être mis dans une autre fournée.

La matière cuite comprend :

1° Des frittes noires, dures, très denses, d'un aspect cristallin, qui ont subi la fusion pâteuse ;

2° Des incuits, légers, de couleur plus claire, ayant conservé leur forme primitive ;

3° Des fragments formés d'une partie frittée et d'une partie non frittée insuffisamment cuite.

On trie à la main les incuits qu'on remet dans une nouvelle fournée. Les fragments qui contiennent une partie frittée et une incuite, sont frappées à coups de marteau, de manière à en détacher la matière qui n'est pas suffisamment cuite. On utilise la partie frittée. Quant aux fragments incuits ains obtenus, on les soumet à l'extinction spontanée à l'air. Il se forme une poudre. On trie cette poudre avec un râteau, ce qui permet de la séparer des incuits. On la porte dans un silo spécial d'où on la tire pour l'utiliser aux constructions de l'usine. Elle n'est jamais livrée au commerce.

### *8° Mouture*

On prend les frittes et on les broye dans un concasseur à mâchoires. Les fragments obtenus sont montés aux moulins par un monte-charge. Les moulins sont identiques aux moulins à blé. Chaque moulin est mû par une force de vingt chevaux fournie par une dérivation de la Gresse. Il existe aussi deux machines à vapeur de secours en cas d'insuffisance d'eau. Il y a huit moulins. Les meules sont en pierre de $1^m,70$ de diamètre.

### *9° Blutage*

Des moulins, la poudre passe aux blutoirs au moyen de vis héliçoïdales sans fin. Les blutoirs sont à toile métallique numéros 55 et 60 et sont semblables à ceux des usines à chaux hydraulique.

Des vis héliçoïdales sans fin conduisent la poudre tamisée dans des silos longeant le quai d'emballage où on la prend au fur et à mesure des besoins. On met le ciment en sacs de 50 kilogrammes ou en tonneaux.

### *10° Essais*

Voici donc le ciment en sacs ou en tonneaux. On fait une analyse sur un échantillon pris au hasard. On se sert d'un sable préparé *ad hoc* et appelé *sable normal.* Voici comment on le prépare. On prend un sable siliceux, on le tamise au travers d'une toile de soixante-quatre mailles par centimètre carré. Ce qui traverse est reporté sur un tamis de cent quarante-quatre mailles. Ce qui reste est le sable normal, dit entre deux toiles.

On prend 1 kilogramme de ciment, 3 kilogrammes de sable normal, et $0^{k},400$ d'eau (10 % du poids du sable et du ciment.) On gâche ferme et on fait 44 briquettes de $0^{m},16$, en moulant la pâte dans des moules *ad hoc.* On laisse reposer vingt-quatre heures et on démoule. On divise les briquettes en deux séries, 22 doivent rester exposer à l'air et 22 dans l'eau. On fait des essais sur deux briquettes de chaque série au bout de 7,28, 84 jours, et de 5,15, 30, 60, 90, 180, 365 jours.

On a fait à l'Ecole des Ponts et chaussées une analyse en 1886, sur le ciment Vicat en poudre. Voici le résultat ;

| | | |
|---|---|---|
| Ciment Vicat en poudre. | Silice | 22.35 |
| | Alumine | 7.95 |
| | Peroxyde de fer | 3.75 |
| | Chaux | 61.25 |
| | Magnésie | 1.90 |
| | Acide sulfurique | 1.70 |
| | Perte au feu et produits non dosés | 1.10 |
| | | 100.00 |

On pourrait peut-être s'étonner de la différence que l'on trouve entre la composition du ciment en briquettes avant cuisson et celles du ciment en poudre après blutage. Mais cette anomalie s'explique par ce fait que pendant la cuisson les cendres du combustible s'unissent en partie avec la chaux pour faire une combinaison.

L'Ecole des Ponts et Chaussées a fait à la même époque des essais à la traction sur des briquettes immergées de 5 centimètres carrés de section. On avait pris un sable pesant 1,400 kilogrammes le mètre cube.

| | | MORTIER de ciment pur | MORTIER de 1 kil. de ciment et de 3 kil. de sable normal |
|---|---|---|---|
| Résistance par centimètre carré, après . . . . | 7 jours . | 29k83 | 15k08 |
| | 28 jours | 33.83 | 19.67 |
| Résistance à la compression après . . . . | 7 jours . | 266.00 | 140.3 |
| Cubes de 0,65 immergés après . . . . . . | 28 jours . | 372.30 | 177.3 |

A Boulogne on a fait des essais sur des briquettes en mortier gâché à l'eau douce, immergées dans l'eau de mer. Les briquettes avaient 5 centimètres carrés de section.

| | | CIMENT VICAT PUR | MORTIER de 1 kil. de ciment et de 3 kil. de sable normal |
|---|---|---|---|
| Résistance par centimètre carré, après . . . . | 7 jours . | 34k | 10k70 |
| | 28 jours . | 44 | 20. » |
| | 3 mois . | 48 | 23.37 |
| | 6 mois . | 48 | 27.66 |

Du 1er janvier 1879 au 31 août 1886, on a fait à l'usine du Genevrey des essais sur des échantillons pris au hasard avec des briquettes de $0^{m2}$,00216 de section. Les essais se faisaient comme nous l'avons indiqué plus haut. On se servait de moules en zinc. La table du laboratoire était elle-même en zinc. On démoulait après avoir laissé la pâte dans les moules pendant vingt-quatre heures. L'eau employée étaient toujours à la température extérieure. Pour faire le mortier on se servait du sable du Drac. Ce sable pesait $1^k$,400 le litre ; il était très fin.

Quant au ciment qui entrait dans ce mortier, il pesait, non tassé, $1^k$,310 le litre.

| AGE DES BRIQUETTES | COMPOSITION DES BRIQUETTES | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ciment pur | 1 vol. de ciment 1 vol. de sable | 1 vol. de ciment 2 vol. de sable | 1 vol. de ciment 3 vol. de sable | 1 vol. de ciment 4 vol. de sable | 1 vol. de ciment 5 vol. de sable | 1 vol. de ciment 6 vol. de sable |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 5 jours . . . | 21.6 | 14.3 | 8.9 | 7.2 | 3.6 | 2.3 | 2.3 |
| 15 — . . . | 27.5 | 18.4 | 9.9 | 9.8 | 5.3 | 4.2 | 3.5 |
| 30 — . . . | 32.6 | 21.7 | 12.6 | 10.1 | 6.7 | 5.5 | 4.8 |
| 60 — . . . | 39.5 | 26.8 | 16.0 | 13.3 | 8.8 | 7.0 | 5.9 |
| 90 — . . . | 39.5 | 29.9 | 18 5 | 14.5 | 0.5 | 7.3 | 5.7 |
| 180 — . . . | 43.2 | 33.8 | 20.8 | 16.0 | 11.6 | 9.0 | 7.7 |
| 365 — . . . | 48.0 | 36.4 | 24.3 | 18.2 | 15.1 | 10.5 | 9.0 |

Pour la colonne 2 essai sur 11 briquettes.
— 3 — 220 —
— 4 — 50 —
Pour les colonnes 5 à 7, essais sur 10 briquettes.
— 8 — 8 —
Chaque chiffre représente donc une résistance moyenne.

## II

### CIMENT DEMI-LENT D'URIAGE

Si de Vif on revient à Grenoble, on rencontre en Dauphiné également, la commune d'Uriage, celle où se trouvent des bains renommés. Là aussi, MM. Vicat et C^ie ont trouvé une carrière de ciment, donnant du ciment à prise demi-lente, tenant le milieu entre le Portland et le Prompt.

#### *1° Carrière*

A Uriage on se trouve dans le lias. Le front de la carrière a 30 mètres de hauteur. La couleur du calcaire est d'un bleu noir ; l'aspect est celui d'une masse compacte dont la stratification est très difficile à reconnaître. On remarque des veines blanchâtres et irrégulières de carbonate de chaux presque pur.

#### *2° Fours*

A la suite de la carrière se trouvent les fours qui, avec la carrière et les moulins, forment différents étages. On prend les pierres, on les casse et on fait le

triage du carbonate de chaux pur qui sert à l'empierrage de la route. On charge les morceaux de pierres sur des wagonnets Decauville et par une voie ferrée de 40 mètres de longueur, on transporte les pierres à l'orifice des fours.

Les fours ont 6 mètres de hauteur, et, au ventre, 3 mètres de circonférence. Leur forme est celle d'un cylindre terminé dans le bas par un tronc de cône renversé dont la petite base correspond à l'orifice de sortie des matières. Ce sont des fours à feu continu.

### 3° *Moulins*

Après cuisson, on charge de nouveau les pierres sur des brouettes et on les porte aux moulins situés près des fours.

On procède d'abord à un triage des incuits. Ensuite avec un marteau on concasse à la main les plus gros morceaux avant de les jeter dans la trémie. Le moulin comprend plusieurs paires de meules mises en mouvement par une turbine de trente chevaux. L'eau arrive à la turbine par une conduite forcée en fonte. La chute est de 93 mètres.

4° *Blutoirs.* — Des moulins, la poudre de ciment tombe directement dans les blutoirs. Ces derniers sont analogues à ceux précédemment décrits pour l'artificiel Vicat.

5° *Silos.* — Des blutoirs, la poudre tamisée est jetée directement et mécaniquement dans les silos, d'où on la tire pour la vendre.

6° *Essais.* — Chaque jour, on procède à des essais. Voici comment ils se pratiquent : On fait deux briquettes avec un mortier composé de 1 volume de sable pour 1 volume de ciment. On immerge une des briquettes ; on expose l'autre à l'air. On voit ainsi comment la poudre fabriquée se comporte dans chaque élément.

Analyse faite le 9 février 1888 à l'Ecole des Ponts et Chaussées (ciment en poudre).

| | | |
|---|---|---|
| Silice | 28.05 | |
| Alumine | 10.20 | 43.35 |
| Peroxyde de fer | 5.10 | |
| Chaux | 43.30 | 49.25 |
| Magnésie | 1.95 | |
| Acide sulfurique | 2.20 | 7.40 |
| Perte au feu | 5.20 | |
| | 100 00 | 100.00 |

Essais de résistance faits en 1888, au laboratoire de l'Ecole des Ponts et Chaussées, sur des briquettes immergées à 5 centimètres carrés de section.

| | | MORTIER de ciment pur | MORTIER de 1 kil. de ciment et de 3 kil. de sable normal |
|---|---|---|---|
| Résistance à la traction par centim. carré après. | 7 jours. | 12k33 | 4k85 |
| | 28 jours. | 14.22 | 6.33 |
| Résistance à la compression par centim. carré après. | 7 jours. | 110.88 | 79.70 |
| | 28 jours. | 139.20 | 84.70 |

## III

### CIMENTS DE LA GRANDE CHARTREUSE

Entre Saint-Laurent du Pont et le couvent de la Grande Chartreuse, la Société Vicat a une carrière de ciment. La même pierre, cuite à deux températures différentes donne, soit du ciment à prise prompte, soit du ciment à prise lente.

1° *Carrière.* — Le banc exploité appartient au terrain néocomien ; il a une couleur d'un noir bleu. La pierre fraîchement cassée laisse échapper une odeur bitumineuse. Le banc a trois mètres d'épaisseur; il est incliné à 45° sur l'horizontale. Entre le toit et le mur se trouve un fil argileux à distance constante du mur. Ce fil sert à trouver les limites du banc à exploiter.

Il y a vingt-deux galeries horizontales de $3^m,50$ de hauteur; les murs de séparation de ces galeries ont également $3^m,50$ d'épaisseur. Les galeries sont réunies entre elles par des cheminées de $2^m,50$ de largeur espacées de 60 mètres en moyenne. Un plan incliné automoteur à contrepoids dessert directement toutes les galeries et amène les wagonnets sur la voie inférieure qui aboutit aux fours.

Un chemin de fer à voie de $0^m,80$, d'un kilomètre de longueur, avec une pente de 4 millimètres par mètre et des courbes de 15 mètres de rayon, relie la carrière aux fours.

### 2° *Cuisson*

1° *Ciment prompt.* — La pierre est préalablement concassée sur la plateforme des fours. Il y a 3 fours ovoïdes de $7^m,50$ à $8^m,50$ de hauteur. Au gueulard se trouve une fermeture en tôle de forme conique. Une gaîne de fumée relie chaque four à une cheminée centrale. On règle le tirage en ouvrant ou en fermant complètement le couvercle en tôle.

La pierre est mélangée avec l'anthracite de la Mure à raison de 10 % de combustible en poids. La durée de la cuisson est de trois jours. Le tirage se fait par des aiguilles qu'on enlève de la grille inférieure, de manière à faire couler les pierres de telle ou telle partie du four. Chaque jour on extrait du four 10 à 12 tonnes de ciment.

2° *Ciment Portland.* — Pour le Portland, on ne prend que les fragments de grosseur moyenne et régulière pour avoir un meilleur tirage. Egalement, le charbon est employé en morceaux d'une certaine grosseur. Il y a sept fours de même forme que ceux du ciment prompt. Ils sont à feu intermittent. La cuisson dure trois semaines environ, réparties de la manière suivante : deux semaines pour la cuisson proprement dite dans le four, et une semaine pour le chargement et la mise en feu. Chaque four est surmonté d'une cheminée.

### 3° *Mouture et blutage*

1° *Ciment prompt.* — On ne fait pas de triage des frittes du ciment prompt. Elles sont toutes portées dans les concasseurs. Ceux-ci sont à mâchoires. Ils peuvent concasser chaque jour 20 tonnes de ciment.

Les moulins comprennent des meules en pierre de $1^{m},70$ de diamètre faisant 90 à 100 tours par minute. Il y en a deux.

Les blutoirs sont des tamis à toile n° 30 ; il y en a même un ordinaire à toile n° 35 ; cette dernière toile donne une poudre qui, passée au tamis à toile n° 80 ne laisse sur le tamis que 20 % de *grabots*. Les tamis sont rectangulaires ; ils ont deux mètres de longueur et une inclinaison de 40° sur l'horizon. Ils sont soumis à l'action d'un taquet qui soulève la partie supérieure et la laisse retomber brusquement de manière à produire une série continue de secousses.

2° *Ciment Portland.* — A la sortie du four, les frittes de Portland sont triées. Les parties de pierres non frittées sont employées pour la fabrication du ciment prompt, la proportion est de 10 % environ. Les frittes sont encore mélangées à une certaine poussière provenant du frittage pendant la cuisson. On se débarrasse de cette poussière par voie de tamisage et de criblage. La proportion est de 10 % environ.

Le concassage se fait par les appareils ci-dessus décrits. Il en est de même pour le broyage. Les tamis sont à toile n° 35. On obtient une poudre qui ne laisse sur le tamis à toile n° 80 que 10 % de grabots.

### 4° *Silotage et ensachage*

Les silos sont au nombre de huit. Ils sont établis sur deux étages. Ils peuvent contenir 2 200 tonnes de ciment.

La poudre blutée est prise dans la chambre des blutoirs au moyen d'une vis héliçoïdale sans fin et remontée dans le silo par une chaîne à godets. Les grappiers sont retournés au moulin.

La durée du dépôt en silos est très variable. Le ciment devient plus léger et il se fait un travail moléculaire.

Le ciment est ensuite mis en sac ou en tonneaux. Un monte-charge les élève au niveau de la route.

### 5° *Essais et vérifications*

Chaque jour, on s'assure que la toile des blutoirs est toujours en bon état.

On extrait des silos une quantité de poudre nécessaire pour procéder, avec du sable, à la confection de 32 briquettes, et on fait les expériences ci-dessus décrites pour le ciment artificiel.

Quant à la composition de ces deux espèces de ciment, elle est absolument la même pour l'un comme pour l'autre, puisque ces pierres sortent de la même carrière et n'ont été que cuites différemment. Voici deux analyses faites en 1882 et en 1886.

1° Analyse faite en 1886 par M. Michaëlis sur un morceau cuit;

| | | | |
|---|---|---|---|
| $SiO^2$ | 20.613 | 34.520 | 100.000 |
| $Al^2O^3$ | 9.453 | | |
| $Fe^2O^3$ | 4.354 | | |
| $Mn^2O^3$ | 0.100 | | |
| CaO | 54.362 | 57.981 | |
| MgO | 3.619 | | |
| Ko | 2.064 | 7.499 | |
| NaO | 0.399 | | |
| $So^3$ | 5.036 | | |

2° Analyse faite en 1886 au laboratoire de l'Ecole des Ponts et Chaussées sur le ciment en poudre :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Sable siliceux | 1.700 | 37.100 | 100.000 |
| Silice combinée | 21.650 | | |
| Alumine | 9.500 | | |
| Peroxyde de fer | 4.250 | | |
| Chaux | 54.550 | 57.700 | |
| Magnésie | 3.250 | | |
| Acide sulfurique | 3.700 | 5.200 | |
| Perte au feu | 1.500 | | |

## § IV. — CIMENTS SUPÉRIEURS DE MM. THORRAND ET C^ie DE VOREPPE

La maison Thorrand et C^ie, de Voreppe, réunie à la maison Pont-Ollion-Nicollet, de Grenoble, sous la raison sociale Thorrand et C^ie, exposait ses produits sur la berge du Trocadéro. On remarquait des conduites d'eau en béton, des balcons, balustrades et balustres, des vases de fleurs et des carrelages en ciment.

Il y avait aussi des blocs de béton provenant de la carapace du Fort du Télégraphe, du dallage de la ville de Grenoble et des conduites d'eau de la même ville. Nous donnons plus loin une copie des trois certificats d'origine de ces blocs. La maison travaille pour le génie, la ville de Paris et les principales villes de France.

*Mosaïques.*— L'attention était attirée aussi par des balustres, piédestaux, vases, tables, etc., en mosaïque formée de fragments de marbre agglomérés par du ciment. Ces mosaïques sont fabriquées par la maison G. Nicollet, de Grenoble qui exposait en même temps que MM. Thorrand et C^ie et avec eux.

De véritables revêtements de murs en mosaïque marbrée forçait le visiteur à s'arrêter et à admirer. Cette exposition révélait de véritables chefs-d'œuvre.

Les nombreux promeneurs de l'Exposition ont pu expérimenter sur place les qualités rares du dallage Thorrand, en marchant sur celui établi par la maison sous le dôme central. Ce dallage est aussi frais aujourd'hui qu'immédiatement après sa pose, après avoir supporté la circulation la plus active.

L'ensemble de cette exposition a valu à la maison Thorrand une médaille d'argent qui est venue s'ajouter aux nombreuses médailles or, argent et bronze qu'elle a déjà reçues.

### CERTIFICATS

N° 1. — Je soussigné, directeur du service de la voirie et des eaux de la ville de Grenoble, certifie que le présent échantillon a été coupé le 25 avril 1889 dans le dallage de la voie charretière de la rue Lafayette, à Grenoble.

Ce dallage, *exécuté en* 1876, avec les ciments fabriqués par MM. Thorrand et C^ie, à Voreppe (Isère), reçoit depuis plus de *douze ans* la circulation très active des voitures et des piétons, cette rue étant une des plus fréquentées au centre du quartier commerçant de la ville.

*Grenoble, le* 25 *avril* 1889,
Signé : THIERVOZ.

N° 2. — Le soussigné, directeur du service de la voirie et des eaux de la ville

de Grenoble, certifie que le présent échantillon a été détaché de l'une des conduites d'amenée des sources de Rochefort à Grenoble.

Ces conduites, exécutées en 1885, avec les ciments fabriqués par MM. Thorrand et Cie, à Voreppe (Isère), supportent avec plein succès une pression s'élevant jusqu'à plus de *dix-sept mètres*. Ce succès n'a été altéré ni par le plus petit tassement, ni par le moindre retrait.

*Grenoble, le* 25 *avril* 1889,
Signé : THIERVOZ.

N° 3. — Le capitaine du génie, soussigné, chargé de la construction du Fort du Télégraphe, certifie que le bloc ci-dessous, fabriqué avec du ciment de la maison Thorrand et Cie, a été extrait des chantiers de bétonnage du Fort.

*Fort du Télégraphe, le 4 juin* 1889,
Signé : A. NOURRAL.

*Vu à Chambéry, le* 5 *juin* 1889,
Le chef du génie,
Signé : J. BRULOT.

*Gisements.* – Les bancs exploités sont des bancs de calcaires argilo-bitumineux, à argile très fine, formant une assise parfaitement définie, à la limite du terrain jurassique et du terrain néocomien.

On exploite trois couches ayant environ $2^m,50$ d'épaisseur; ces couches sont inclinées à 30° sur l'horizontale. L'exploitation se fait par galeries et piliers; les piliers ont $10^m \times 10^m$ et les galeries environ 4 mètres de largeur. Elles sont superposées et réunies par des galeries descendantes à d'autres galeries principales où le roulage des wagons se fait sur une voie de fer. Ces galeries principales sont au nombre de deux et débouchent sur la plate-forme des fours.

*Fours.* — La maison Thorrand et Cie fabrique quatre espèces de ciment qui sont le ciment à prise prompte, le demi-lent, le Portland naturel et l'artificiel. Un banc de 4 mètres d'épaisseur et un de $1^m,50$ donnent du ciment prompt; le deuxième de $2^m,50$ à 3 mètres d'épaisseur donne du ciment lent.

Les fours sont au nombre de 18; leur forme est ovoïde; ils ont en moyenne 8 mètres de hauteur, 2 mètres de diamètre au gueulard et en bas, et $3^m,50$ au ventre.

Les fours à ciment prompt sont à feu continu, et ceux à Portland à feu intermittent.

Le charbon employé est de l'anthracite (grésil de la Mure); le dosage est de 150 kilogrammes par 1000 kilogrammes pour le ciment prompt, et de 300 à 400 kilogrammes pour le ciment Portland; le charbon est arrosé et le dosage se fait

à la brouette; on met alternativement une couche de pierre et une couche de combustible.

Les fours à ciment prompt sont tirés chaque jour, la pierre séjourne en moyenne sept à huit jours dans les fours. Une fournée de ciment Portland dure en moyenne trois ou quatre semaines, y compris l'enfournement et le défournement. La température très élevée qui s'y développe exige des réparations après chaque fournée, et la chemise doit être changée tous les douze à seize mois.

*Construction des fours.* — En partant de l'intérieur, on remarque la chemise construite en briques réfractaires de premier choix. Les briques ont $0^m,30$ de queue, $0^m,12$ de hauteur et $0^m,25$ de largeur; elles sont faites sur gabarit; elles sont numérotées; les joints sont aussi minces que possible et remplis de terre réfractaire gâchée comme du mortier.

Derrière la chemise se trouve un espace vide de $0^m,30$ rempli de matières inertes fortement tassées (sable siliceux, débris de fours), enfin vient la maçonnerie.

Les fours sont adossés à la montagne; chacun porte en haut une gaîne aboutissant à une cheminée qui dessert six à sept fours; un couvercle en fer recouvre l'orifice des fours et sert à régler le tirage.

*Triage.* — Le ciment, à sa sortie des fours, est trié avec soin pour le débarrasser des quelques incuits qui s'y trouvent parfois mélangés, puis on le laisse quelque temps en tas pour permettre un refroidissement complet et former un stock qui pare aux irrégularités de marche des fours. Ce ciment est ensuite chargé dans des wagonnets de un mètre cube qui le descendent aux moulins situés à un kilomètre de distance et environ cinquante mètres plus bas.

*Moulins.* — Les moulins sont au nombre de trois; le premier est actionné par une turbine de 40 chevaux-vapeur; le deuxième, par deux roues hydrauliques de 30 chevaux-vapeur chacune, et le troisième, par une roue hydraulique de 30 chevaux-vapeur et deux moteurs à vapeur de 35 et 120 chevaux-vapeur, ce qui donne un total de 250 chevaux-vapeur.

Le nombre de paires de meules est de douze. La production journalière moyenne est de cent tonnes, mais elle peut facilement atteindre cent cinquante tonnes.

Le ciment est versé par les wagonnets sous des hangars attenant aux moulins d'où on le reprend avec des brouettes pour le porter au concasseur à mâchoires et, de là, aux meules. Le concasseur prépare le ciment pour les meules et donne des fragments ayant la grosseur d'une noix.

La poudre obtenue dans les meules est remontée par des élévateurs dans des blutoirs rotatifs garnis de toiles métalliques (n° 50 pour le ciment prompt; n° 60 pour le Portland naturel et n° 70 pour le Portland artificiel). La poudre qui franchit cette toile est conduite par des vis sans fin dans de vastes magasins. Le refus des bluteries retourne aux meules, le déchet est donc nul.

*Ensilosage.* — Le ciment est laissé dans les magasins en silos trois mois au moins pour le ciment prompt et six mois pour le Portland; chaque silos contient 500 tonnes de marchandises.

L'ensilotage est indispensable pour avoir un produit régulier et de bonne qualité.

Le ciment, ensaché à la sortie des meules, aurait une prise irrégulière et trop rapide. Les silos ont cinq mètres de largeur, dix mètres de profondeur, sept mètres de hauteur. Les silos permettent de recevoir 12 000 tonnes de ciment. Une fois remplis, ils sont marqués à la date du remplissage et, six mois après, on les vide. On expédie le ciment en sacs plombés du poids de 50 kilogrammes ou en barils de poids variable au gré de l'acheteur; les sacs sont chargés directement dans les wagons de la Compagnie P.-L.-M.

*Contrôle de la fabrication.* — Des échantillons sont prélevés chaque jour dans les couches exploitées et analysés rapidement par liqueurs titrées; on exerce ainsi un contrôle incessant sur la matière première.

Le ciment à sa sortie des fours est, comme nons l'avons dit, trié pour en ôter les incuits; le même ouvrier est toujours préposé au même four. Cette opération se fait donc aussi parfaitement que possible.

Trois fois par jour, on prélève à la sortie des meules des échantillons de ciment moulu; ces échantillons servent à confectionner des briquettes qui permettent de juger, le jour même, de la qualité du ciment fabriqué.

Outre ces essais rapides, qui sont indispensables pour suivre pas à pas et corriger, au besoin, la fabrication, il y a les essais à longue durée qui se divisent en chimiques et physiques. La maison possède un laboratoire complet pour ce genre d'opérations et l'on suit la façon d'opérer du laboratoire des Ponts et Chaussées. Les ciments sont analysés, on détermine leur densité, leur finesse de mouture, leur durée de prise; et l'on confectionne des briquettes et des cubes qui seront essayés à la traction et à la compression à des échéances de sept jours, vingt-huit jours, six mois, un an, deux ans, trois ans. On pousse toujours les essais jusqu'à un an au minimum, car il est aujourd'hui démontré que des ciments Portland donnant des résistances considérables à sept jours, vingt-huit jours et même quatre-vingt-quatre jours, ont généralement des résistances qui décroissent ensuite; les résultats indiqués à ces courtes échéances n'ont donc que peu de valeur, et il est d'une grande importance de prolonger les essais le plus longtemps possible.

Voici quelques tableaux récapitulatifs :

| | Durée de la prise | Densité |
|---|---|---|
| Ciment à prise prompte. . . . | 10 à 15 minutes | 1.1 à 1.2 |
| — demi-lente . . . | 20 à 30 — | 1.2 |
| — Portland naturel . | 2 à 4 heures | 1.25 à 1.30 |
| — artificiel. . . . | 6 à 10 heures | 1.35 à 1.45 |

Au laboratoire de l'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, l'analyse a donné les résultats suivants :

| | CIMENT | | CIMENT PORTLAND | |
|---|---|---|---|---|
| | Prompt | Demi-lent | Naturel | Artificiel |
| Silice combinée. . . . | 23.00 | 23.00 | 21.80 | 22.10 |
| Alumine. . . . . . . | 13.80 | 13.80 | 11.35 | 10.90 |
| Chaux . . . . . . . | 54.35 | 54.35 | 58.85 | 59.15 |
| Peroxyde de fer . . . | 4.35 | 4.35 | 3.85 | 3 75 |
| Magnésie . . . . . . | 0.75 | 0.75 | 1.30 | 1.40 |
| Sable inerte. . . . . | 1.25 | 1.25 | 1.15 | 1.05 |
| Acide sulfurique . . . | 2.50 | 2.50 | 1.70 | 1.65 |
| Total. . . . | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| | CIMENT | | CIMENT PORTLAND | |
|---|---|---|---|---|
| | Prompt | Demi-lent | Naturel | Artificiel |
| | kilog. | kilog. | kilog. | kilog. |
| Poids de la poudre non tassée . . . . . . . | 7.68 | 953 | 1.089 | 1.162 |
| Poids de la poudre tassée. | 1.187 | 1.433 | 1.536 | 1.668 |
| Un mètre cube de pâte contient : ciment. . . | 1.223 | 1.582 | 1.651 | 1.740 |
| Eau de gâchage . . . | 626 | 487 | 470 | 417 |
| Poids de la pâte . . . | 1.849 | 2.069 | 1.221 | 2 157 |
| Résistance à l'écrassement par centim. carré, mortier de ciment pur, immergé après 10 jours . | 49 | 54 | 129 | 80 |
| Un an . . . . . . . | 254 | 363 | 458 | 416 |

Des expériences ont été faites à l'usine, en 1887-1888, sur la résistance à la traction du ciment artificiel gâché avec du sable normal, et moulé en briquettes de 16 centimètres carrés à la partie faible, qu'on laissait sécher à l'air ; le dosage était de 4 kilogrammes de ciment pour 4 litres 1/2 de sable. En voici le résultat :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Après 5 jours. . . . | 9k92 par centim. carré sur | 6 | briquettes |
| — 10 — . . . . . | 10,98 — | 6 | — |
| — 30 — . . . . . | 18,41 — | 10 | — |
| — 3 mois. . . . | 24.77 — | 5 | — |
| — 6 — . . . . . | 36.25 — | 3 | — |

Voici, enfin, les procès-verbaux d'essais des ciments Thorrand, au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées :

## Ciment Portland artificiel de la Maison Thorrand & Cie

### A VOREPPE (Isère)

*Extrait du Registre des essais de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées*

Le ciment Portland artificiel de MM. Thorrand et Cie laissait au tamisage les résidus suivants :

| | |
|---|---|
| Sur le tamis de 324 mailles . . . | 0.00 |
| — 900 — . . . | 1.4 |
| — 5000 — . . . | 26.2 |
| Total des résidus. . . | 27.6 |
| donnant en fine poussière. . . . | 72.4 |
| Total . . . . . . . . | 100.00 |

Mesuré sans tassement dans une mesure d'un litre le ciment tel quel avait une densité de. . 1.205
et la fine poussière. . . . . . . . . 1.015

**OBSERVATIONS**

Ces ciments ne font que se bonifier en veillissant. Ce qui le prouve ce sont les résultats des essais faits aux Ponts et Chaussées après un an.

| INDICATION DES DOSAGES | RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ | | | | RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A l'arrachement | | A la compression | | A l'arrachement | A la compression |
| | 7 jours | 28 jours | 7 jours | 28 jours | Un an | Un an |
| Ciment pur. . . . | 14k80 | 24k17 | 137k3 | 241k7 | 42k30 | 568k70 |
| Mortier à 1300 kil. . | 13.87 | 21.67 | 172.0 | 238.7 | 44.80 | 495.3 |
| — 650 —. . | 10.03 | 17.43 | 164.7 | 183.3 | 41.63 | 495.3 |
| — 450 —. . | 5.83 | 12.70 | 95.0 | 152.3 | 35.17 | 338.7 |
| — 430 —. . | 5.33 | 10.83 | 90.7 | 126.3 | 33.40 | 339.7 |
| — 400 —. . | 5.13 | 8.83 | 80.0 | 98.3 | 31.93 | 308.0 |
| — 350 —. . | 3.97 | 7.87 | 62.3 | 82.0 | 26.17 | 251.3 |
| — 300 —. . | 3.33 | 6.73 | 47.7 | 74.7 | 22.00 | 172.0 |
| — 250 —. . | 2.67 | 6.30 | 34.0 | 56.0 | 20.90 | 117.7 |

ÉCOLE NATIONALE
DES
PONTS ET CHAUSSÉES

**Laboratoire**

# RÉSULTATS MAXIMA

## à 7, 28, 84 jours, 6 mois et 1 an

*Résistances diverses*

Ciments supérieurs
DE
**THORRAND & C$^{ie}$**
A
VEREPPE, PRÈS GRENOBLE
(Isère)

| INDICATION DES DOSAGES | A LA TRACTION | | | | | | | | | | A LA COMPRESSION | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | CIMENT PROMPT | | | | | CIMENT PORTLAND | | | | | CIMENT PROMPT | | | | | CIMENT PORTLAND | | | | |
| | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 6 mois | 1 an | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 6 mois | 1 an | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 6 mois | 1 an | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 6 mois | 1 an |
| Ciment pur. . . | 14$^{k}$87 | 15$^{k}$47 | 18$^{k}$77 | 28$^{k}$50 | 31$^{k}$27 | 11$^{k}$87 | 17$^{k}$17 | 30$^{k}$30 | 36$^{k}$43 | 42$^{k}$30 | 151$^{k}$00 | 167$^{k}$7 | 256$^{k}$0 | 413$^{k}$0 | 518$^{k}$6 | 82$^{k}$3 | 145$^{k}$0 | 287$^{k}$0 | 428$^{k}$7 | 568$^{k}$7 |
| Mortier à 1300 kil. de ciment par mètre cube de sable. | 17.90 | 20.83 | 29.73 | 38.93 | 43.03 | 13.10 | 21.93 | 33.47 | 44.87 | 44.80 | 190.3 | 207.7 | 324.7 | 431.0 | 535.3 | 127.7 | 182.7 | 283.0 | 410.7 | 495.3 |
| Mortier à 650 kil. | 16.37 | 21.87 | 30.43 | 41.60 | 42.83 | 8.97 | 20.33 | 27.97 | 42.56 | 41.63 | 213.00 | 224.3 | 237.3 | 460.3 | 528.7 | 145.7 | 206 0 | 259.3 | 397.7 | 495.3 |
| — 450 — | 10.60 | 14.23 | 22.00 | 31.07 | 35.10 | 5.87 | 11.90 | 21.33 | 31.53 | 35.17 | 135.7 | 164.0 | 244.3 | 338.3 | 388.0 | 94.3 | 157.7 | 204.3 | 269.3 | 338.7 |
| — 1 2 — | 9.37 | 13.87 | 21.43 | 32.57 | 31.40 | 5.97 | 13.10 | 21.97 | 33.87 | 33.40 | 146.0 | 150.3 | 228.0 | 351.0 | 402.0 | 100.3 | 151.7 | 227.0 | 280.7 | 339.7 |
| — 400 — | 8.83 | 11.87 | 18.93 | 31.30 | 33.70 | 4.33 | 11.17 | 18.83 | 28.27 | 31.93 | 132.0 | 133.7 | 177.0 | 308.7 | 371.3 | 81.00 | 133.7 | 181.0 | 250.7 | 308.0 |
| — 350 — | 8.87 | 13.17 | 18.53 | 26.07 | 26.17 | 3 73 | 8.70 | 16.20 | 21.87 | 26.17 | 114.3 | 139.0 | 175.0 | 255.3 | 252.3 | 66.3 | 107.0 | 148 0 | 183.0 | 251.3 |
| — 300 — | 6.30 | 9.67 | 16.90 | 23.27 | 26.43 | 3.27 | 7.50 | 16.93 | 21.47 | 22.00 | 88.3 | 99.0 | 128.0 | 193.3 | 249.0 | 49 3 | 82.0 | 106.3 | 144.0 | 172.0 |
| — 250 — | 4.97 | 7.90 | 16.33 | 21.93 | 20 43 | 3.60 | 5.77 | 13.00 | 17.83 | 20.90 | 64.0 | 76.3 | 108.3 | 154.0 | 166.3 | 31.7 | 59.7 | 77.0 | 105.3 | 117.7 |

## § V. — CIMENTS DE LA PORTE DE FRANCE A GRENOBLE

La Société Delune et C^ie^, qui exploite les ciments dits de la porte de France, a obtenu une médaille d'*or* à l'Exposition universelle de 1889. Cette société comprend trois maisons : la maison Dumollard et Viallet, la maison Vendre, Arnaud et Carrière, et la maison Dupuy de Bordes et C^ie^.

La maison Dumollard et Viallet a une des fabrications des plus importantes de la Société. Elle fabrique trois espèces de ciment : le ciment prompt, le ciment à prise demi-lente et le Portland. Elle fait aussi un Portland artificiel.

### I. — *Ciment prompt.*

1° *Gisement.* — On exploite trois couches de calcaire argileux. La plus importante a $4^m,50$ d'épaisseur ; on ne l'exploite que sur $3^m,50$, en laissant de part et d'autre une tranche de $0^m,50$ d'épaisseur, dont la composition n'est pas identique à celle de la couche centrale, les deux autres couches ont $1^m,50$ d'épaisseur chacune ; on ne les exploite que pour ouvrir des galeries de service. Ces couches appartiennent au terrain crétacé.

On transporte le calcaire par voie ferrée jusqu'au flanc de la montagne; puis, pour le descendre dans la plaine, on se sert d'un plan incliné aérien formé de deux câbles suspendus de 600 mètres de longueur, rachetant une différence de niveau de 310 mètres. Un câble automoteur sans fin, dont la tension est réglée par un chariot mobile inférieur, chargé de 2000 kilogrammes, relie le wagon chargé au wagon remontant vide ; la vitesse est réglée au moyen d'un frein de Prony.

Arrivé au pied de la montagne, le calcaire est jeté dans un puits vertical. A l'extrémité inférieure de ce puits, se trouve un wagon qui reçoit le calcaire et le conduit par galerie horizontale à l'orifice des fours.

2° *Cuisson.* — Les fours sont à feu continu, de 76 à 77 mètres cubes de capacité. Ils sont au nombre de 24. Le combustible employé est l'anthracite de la Mure en poudre. On le place par couches alternatives avec le calcaire argileux extrait de la carrière. Il en faut 180 kilogrammes par tonne de ciment. On le mouille au moment de l'emploi.

La cuisson dure dix jours environ.

Au bout de ce laps de temps, on commence à défourner, tandis qu'on enfourne par le haut. On retire en bas le produit cuit. Ce produit se compose de fragments jaunâtres ayant conservé leur forme primitive, et de fragments ayant subi la fusion pâteuse.

On sépare les fragments non frittés qui forment les deux tiers de la masse, des frittes qu'on met de côté, et qui serviront à faire du ciment lent.

3° *Mouture et blutage.* — On transporte le calcaire cuit à l'usine de Saint-Egrève-Saint-Robert par un service de tombereaux.

Avant la mouture, on procède à un concassage à la main.

Le tout est transporté dans des moulins, à meules en pierres de 1$^m$,70 de diamètre, faisant 70 tours par minute. Il y a dans l'usine de Saint-Egrève huit paires de meules. Le mouvement est fourni par une dérivation de la rivière, ayant une force de 70 chevaux. Il y a en plus une machine à vapeur de 90 chevaux.

Un élévateur à godets prend la poudre des moulins pour la porter dans des blutoirs, situés à l'étage supérieur. Ces blutoirs sont à section polygonale. La toile métallique est du numéro 50. Il se produit une séparation entre la poudre fine et les grains trop gros. Ces derniers sont ramenés automatiquement aux moulins. La poudre tamisée se rend à l'extrémité de la chambre du blutoir. Là, une vis héliçoïdale sans fin conduit la poudre dans les silos.

4° *Silotage.* — Il y a dans l'usine vingt-deux silos, pouvant contenir 10000 tonnes de ciment prompt et 14000 tonnes de ciment lent.

Le ciment prompt reste environ deux à trois mois en silos. Mais ce temps peut être considérablement réduit.

5° *Propriétés.* — Ce ciment prompt a une densité de 1,15 en poudre non tassée. Il fait prise dans un délai de cinq à dix minutes, suivant la température.

6° *Essais et vérifications.* — Après s'être assuré du bon fonctionnement des blutoirs, on fait aussi l'analyse de la poudre des silos. Voici le résultat d'une analyse faite le 16 novembre 1886 au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées :

| | |
|---|---|
| Silice combinée. . . . . . . . . . | 21.30 |
| Alumine . . . . . . . . . . . . | 9.50 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . | 4.00 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . | 55 90 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . | 4.00 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . | 3.20 |
| Perte au feu. . . . . . . . . . | 2.10 |
| | 100.00 |

Pous les essais à la résistance, on fait quatre briquettes, deux en ciment pur et deux avec du mortier composé de une partie de sable et une partie de ciment. On laisse pendant huit ou dix jours d'expectative une briquette de chaque espèce dans l'air, et les autres immergées dans l'eau. On fait aussi des briquettes pour les essais à la rupture.

Au mois de novembre 1888, il a été procédé, au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, à une analyse des calcaires qui servent à faire ce ciment, ainsi que les autres ciments. Voici les résultats de cette analyse :

| | ÉCHANTILLONS | | | | | | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nº 1 | Nº 2 | Nº 3 | Nº 4 | Nº 5 | Nº 6 | |
| Résidu insoluble dans les acides étendus . . . . | 22.35 | 21.00 | 21.10 | 23.05 | 22.25 | 22 45 | 22.04 |
| Alumine et peroxyde de fer solubles dans les acides étendus . . . . . . | 1.95 | 1.60 | 1.95 | 1.80 | 1.55 | 1.85 | 1.78 |
| Chaux . . . . . . . . | 36.85 | 37 55 | 37.25 | 36.10 | 36.65 | 36 80 | 36.87 |
| Magnésie . . . . . . | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.50 | 2.45 | 2 45 | 2.48 |
| Soufre . . . . . . . . | 0.90 | 0.85 | 1 00 | 1.10 | 1.25 | 1.15 | 1.04 |
| Perte au feu. . . . . . | 35.45 | 36.50 | 36.20 | 36.45 | 35.85 | 35.30 | 35.79 |
| | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 10.000 |

La société fabrique annuellement 47 700 tonnes de ciment prompt, y compris les productions des deux autres maisons que la maison Dumollard et Viallet. Cette dernière y est pour la moitié.

## II. — CIMENT PORTLAND A PRISE DEMI-LENTE

Le ciment Portland demi-lent provient des frittes triées après le défournement du calcaire cuit. On le prépare aussi directement, en cuisant à une haute température une partie du calcaire mise à part. Les fours sont à cuisson intermittente. Il faut alors 250 kilogrammes de charbon. Les frittes sont extraites au bout de vingt-un jours ; elles sont presque toutes noires et dures ; il s'en trouve quelques-unes peu frittées, jaunâtres et légères : on les emploie à la fabrication du ciment prompt.

*Mouture et blutage.* — Les frittes, qu'elles proviennent de la fabrication du ciment prompt, ou de la fabrication directe du demi-lent, sont soumises à un concassage mécanique, puis broyées sous des meules en pierre ci-dessus décrites. Le blutage se fait dans des blutoirs à toile métallique numéro 60. Il se fait un triage de grappiers qui sont ramenés automatiquement aux moulins.

*Silotage.* — Une vis héliçoïdale sans fin conduit la poudre aux silos, où elle séjourne trois ou quatre mois.

*Propriétés.* — Ce ciment fait prise au bout de 15 à 20 minutes. Sa densité est de 1,4 en poudre non tassée.

*Essais et vérifications.* — Dans les silos, il est procédé aux vérifications et esssais ci-dessus décrits.

Voici le résultat d'une analyse, faite 1880, au laboratoire des Ponts et Chaussées :

| | |
|---|---|
| Silice combinée | 20.25 |
| Alumine | 11.90 |
| Peroxyde de fer | 4.35 |
| Chaux | 55.85 |
| Magnésie | 4.15 |
| Acide sulfurique | 2.95 |
| Perte au feu | 0.55 |
| | 100.00 |

## III. — CIMENT PORTLAND ARTIFICIEL
## (*Portland mixte*).

Ce ciment est le produit d'un mélange de grappiers provenant de la chaux hydraulique de Sassenage et de frittes servant à la fabrication du ciment demi-lent. Voici sa proportion :

| | |
|---|---|
| Grappiers | 40 |
| Frittes | 60 |
| | 100 |

*Mouture et blutage.* — Le tout est réduit en poudre dans des moulins à meules en pierre. On se sert aussi d'un nouveau broyeur, appelé le broyeur Morel (fig. 6, pl. 5-6).

*Broyeur Morel.* — C'est un broyeur à boulets et à force centrifuge.

Cet appareil a la forme d'un cylindre à axe vertical de 1 mètre seulement de diamètre et de $0^m,50$ de hauteur; il se compose de six bras métalliques partant d'un moyeu central, mis en mouvement par un arbre à axe vertical, et de six boulets en acier de $0^m,20$ de diamètre, et pesant 35 kilogrammes chacun, simplement intercalés entre les bras sans aucune liaison. Le tout est entouré d'une couronne cylindrique en acier, présentant intérieurement une gorge circulaire à section sphérique décrite, avec un rayon égal à celui des boulets, et présentant une flèche de 3 centimètres; cette couronne est surmontée d'une toile métallique destinée à tamiser la poudre.

Supposons qu'on imprime au moyeu une certaine vitesse de rotation. La force centrifuge chasse les boulets; ceux-ci s'engagent dans la gorge de la couronne; ils roulent, et restent dans cette gorge en y écrasant par pression, roulement et glisement, la matière à pulvériser que l'on introduit, au moyen d'une trémie dans la partie centrale de l'appareil.

La rotation de l'appareil produit un courant d'air qui chasse la poudre obtenue. Cette poudre traverse la toile métallique. Elle est recueillie dans un espace annulaire compris entre l'appareil et une cloche en fonte qui l'enveloppe entièrement, de manière à éviter toute déperdition de poudre. Des raclettes, mues par l'appareil, rassemblent cette poudre et la font tomber dans un conduit qui l'amène aux blutoirs.

La production est de 800 à 1 000 kilogrammes de ciment à l'heure. Il faut une force motrice moitié moindre que celle nécessaire à une paire de meules produisant la même quantité de ciment.

*Blutoir Morel.* — Du broyeur Morel, la poudre est renvoyée dans un blutoir qui porte également le nom de *blutoir Morel* (fig. 7, pl. 5-6).

C'est un blutoir fixe, à tamis conique, auquel un taquet donne un mouvement de trépidation. La force motrice employée est insignifiante.

Cet appareil se compose :

1° D'un tamis en forme de cône à axe vertical ; la poudre arrive au sommet de ce cône ; elle s'épanouit sur la surface latérale extérieure du cône; elle la traverse en se tamisant ; il se fait un premier triage ; la poudre fine est reçue dans un entonnoir en cône renversé, placé sous le tamis, sur le même axe, et dont le sommet inférieur aboutit à un tube d'écoulement de la poudre ;

2° D'un second tamis formant un cône renversé, et enveloppant l'entonnoir ci-dessus avec un petit intervalle qui permet à la matière arrivant à la base du premier tamis de continuer à se tamiser en descendant dans cet entonnoir. La poudre fine, qui passe de l'intérieur à l'extérieur, est reçue dans un entonnoir ou cuvette conique qui enveloppe les deux précédents, et dont le sommet a un débouché commun avec l'entonnoir le plus central qui a recueilli la poudre du premier tamis. Les parties, qui ne traversent pas la toile, sont réunies à la pointe inférieure du second tamis et écoulées par un conduit spécial. Un taquet donne à l'ensemble de l'appareil un mouvement de trépidation qui facilite le tamisage. Étant donnée l'inclinaison des toiles des tamis, on réduit de cinq unités le numéro des toiles à employer.

*Essais et vérifications.* — Il est procédé ensuite aux vérifications et essais ci-dessus décrits.

Voici le résultat d'une analyse, faite en 1886, par le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, d'un échantillon de ciment artificiel :

| | |
|---|---|
| Sable siliceux . . . . . . . . . . | 0.40 |
| Silice combinée . . . . . . . . . | 25.45 |
| Alumine . . . . . . . . . . . | 6.10 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . . | 3.30 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . | 57.00 |

| | |
|---|---|
| Magnésie . . . . . . . . . . . | 2.40 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . . | 1.80 |
| Perte au feu . . . . . . . . . . | 3.55 |
| | 100.00 |

Il est intéressant de connaître aussi la composition des grappiers de chaux hydraulique de Sassenage qui entrent dans la composition du ciment artificiel. La voici :

| | |
|---|---|
| Sable siliceux . . . . . . . . . . | 11.35 |
| Silice combinée . . . . . . . . . | 19.40 |
| Alumine . . . . . . . . . . . | 2.65 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . . | 1 10 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . | 55.95 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . | 0.15 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . | 0.15 |
| Perte au feu . . . . . . . . . | 9.25 |
| | 100.00 |

## § VI.—CIMENTS DU VALBONNAIS

La maison Pelloux père et fils, qui exploite les carrières à ciment du Valbonnais, avait son exposition le long du quai de Billy. On remarquait parmi les nombreux spécimens d'emploi du ciment de Portland du Valbonnais : 2 colonnes avec chapiteaux ioniques et piédestaux ; deux élégants fûts en mosaïque ; un escalier tournant avec marches en ciment quadrillé ; un modèle de baie de fenêtre avec appui ; des montants et linteaux en pierre factice ; une table en mosaïque de $1^{m},70$ sur 1 mètre avec $0^{m},05$ d'épaisseur ; enfin un magnifique vase Médicis en béton composé de 10 parties de gravier pour une de ciment. Il y avait aussi un panneau de dallage de chaussée qui, après un service de 10 ans dans une rue de Grenoble, était dans un état de conservation remarquable. On avait utilisé pour ces échantillons les deux qualités de ciment fabriquées par la maison.

Les usines Pelloux sont situées à Valbonnais, sur la rive droite de la rivière La Bonne, à 10 kilomètres de la Mure, sur la route du Bourg d'Oisans, à 52 kilomètres sud-ouest de Grenoble, dans le massif montagneux, au pied du Roussillon. La découverte de ces gisements remonte à 1869, époque de la construction du canal de Beaumont ; elle motiva immédiatement la formation d'une Société qui, sous la raison sociale : Pelloux père et fils et $C^{ie}$, s'assura la propriété exclusive de la concession et de la fabrication des ciments de Valbonnais.

L'usine actuelle a été construite en 1877.

I. *Carrières.* — Le gisement forme deux bancs à peu près verticaux de 4 à

5 mètres d'épaisseur. On exploite le banc de 4 mètres seulement. La couche est formée d'un calcaire argileux, noir, très compact, feuilleté en grand, faisant partie du terrain du Lias.

L'exploitation comprend sept galeries horizontales superposées, ayant huit mètres de hauteur, et séparées par un intervalle plein de cinq mètres. La galerie inférieure qui sert de galerie de roulage, communique par des puits percés de distance en distance avec les galeries immédiatement supérieures et leur sert de déversoir.

Les galeries supérieures débouchent à flanc de coteau. Elles sont desservies par un plan incliné automoteur avec contrepoids, suffisant pour remonter le truc et le wagon vide. La descente est produite par le wagon plein, et la remonte, par le contrepoids. Un frein placé à la partie supérieure règle la vitesse. Ce procédé est très économique et obvie aux inconvénients que présentent les cheminées de chute où les pierres se brisent en trop petits fragments.

II. *Fours.* — La carrière est à 150 mètres des fours ; elle est desservie par un chemin de fer à voie étroite de $0^m,80$. Une pente douce et suffisante amène les wagons près des gueulards des fours, dans lesquels on doit les vider.

On procède à un cassage des plus gros fragments de pierres, et à un triage des matières étrangères au banc de ciment. Des brouettes de dosage transportent les fragments ainsi préparés, sur les fours. La proportion est de douze brouettes de pierres pour une de charbon. On emploie comme combustible le menu d'anthracite de la Mure. Le charbon est jeté à la pelle et mouillé au préalable.

Les fours, à feu continu sont au nombre de dix. Leur hauteur varie entre 9 et 10 mètres, leur capacité, de 65 à 70 mètres cubes ; leur forme est ovoïde.

La durée de la cuisson est de 6 à 7 jours. Tous les matins, on tire de chaque four 6 à 7000 kilogrammes de ciment cuit. On procède en même temps au rechargement du four.

Au débouché des fours se trouve un vaste quai couvert où se fait le triage et le chargement des matières à destination des moulins.

Ces matières comprennent :

1° Les *incuits* qui ont conservé leur forme et leur couleur naturelle ;

2° Les *briques* ou morceaux étrangers au banc de ciment et de composition très argileuse ; on les trouve fondus ou vitrifiés comme du mâchefer ou en morceaux légers, fendillés, de couleur jaunâtre et très durs. Ils se trouvent dans la proportion de 8 à 10 kilogrammes dans 6000 kilogrammes de pierre cuite ; leur triage comme celui des incuits se fait à la main ;

3° Le *ciment n° 1*, composé de fragments durs, noirs, frittés et feuilletés ; qui sont empilés et laissés en grume sur le quai pendant huit ou dix jours, pour faciliter l'ensilage et en diminuer la durée ;

4° Le *ciment n° 2*, sous forme de fragments non frittés, de couleur moins foncée que les précédents, plus ou moins légers.

III. *Moulins et Bluteries.* — En face des fours, dans l'espace compris entre la route et la rivière, on a installé les moulins et les bluteries ainsi que les accessoires de l'usine, silos, quais d'emballage et d'expédition, bureaux, etc.

Le ciment est retiré des fours et jeté à la pelle dans de petits wagonnets en fer qui le transportent aux moulins.

On fait subir aux deux espèces de ciments précitées les mêmes opérations, mais d'une manière distincte.

Un concasseur à mâchoires reçoit d'abord les matières et en effectue le broyage; le produit de l'opération tombe à l'étage inférieur dans des trémies qui le distribuent aux moulins suivant les besoins. Les moulins, au nombre de 4, sont mûs chacun par une turbine de 45 chevaux-vapeurs ; le diamètre des meules est de $1^m,70$ ; l'axe vertical de la turbine les actionne directement.

Un élévateur à godets, qui reçoit le mouvement de la turbine au moyen d'un pignon d'engrenage, prend la poudre qui sort des moulins et la monte à l'étage supérieur pour la déverser dans les blutoirs. Ces derniers sont de forme octogonale. Pour le ciment n° 1, on emploie la toile métallique n° 80 ; la toile n° 60 est réservée au ciment n° 2.

Une vis héliçoïdale sans fin, qui reçoit le mouvement de la même manière que l'élévateur à godets, amène le ciment bluté dans les divers silos.

La force motrice est donnée par une dérivation de la Bonne donnant 3 mètres cubes par seconde avec une chute de $7^m,50$.

IV. *Silos.* — Les silos sont au nombre de six. Leur capacité est de 4000 à 4500 tonnes de ciment; leur hauteur est de 9 mètres. Ils ont des murs de $1^m,10$ d'épaisseur en mortier de ciment. Les silos débouchent sur le quai d'emballage.

Le silotage dure de deux à trois mois. L'ensachage se fait au moyen du peseur ensacheur. Cet instrument est une espèce de bascule tarée. Voici comment on opère : le sac vide pèse $0^k,520$ ; on pèse 51 kilogrammes de poids brut, afin qu'avec le déchet de route, il reste toujours 50 kilogrammes de ciment.

L'expédition se fait par voitures à la gare de Vizille et de là par chemin de fer. La production annuelle est de 150 000 tonnes environ.

V. *Essais.* — Toutes les deux heures, inspection est faite dans les bluteries à seule fin de s'assurer que les toiles ne sont pas percées. A l'effet de constater que le ciment fabriqué a toujours la même qualité, on procède journellement au moulage de tuyaux que l'on expérimente.

La maison Pelloux produit, comme nous venons de le constater en étudiant la fabrication, deux espèces de ciments, quoique toujours du genre Portland.

1° Le *ciment n° 1*, qui fait prise en 12 ou 15 heures, sa densité en poudre non tassée est de 1,41 ;

2° Le *ciment n° 2*, qui fait prise dans un délai de 4 à 5 heures ; sa densité est de 1,28.

Voici la composition comparée de ces deux ciments.

| DÉSIGNATION | CIMENT N° 1 | CIMENT N° 2 |
|---|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . | 24.26 | 24.0 |
| Alumine. . . . . . . . . . . . | 11.9 | 12.6 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . | 55.7 | 55.6 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . . . | 4.4 | 4 3 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . | 0.5 | 0.5 |
| Sable inerte. . . . . . . . . . | 0.9 | 0.7 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . | 2.0 | 2.3 |

Il y a peu de différences dans la composition, les ciments provenant du même banc de carrière ; la surcuisson des fragments du ciment n° 1 amène seule cette différence dans la durée de la prise.

Pendant l'exécution du pont de Séchilienne, l'Administration des Ponts et Chaussées a fait procéder à des essais comparatifs sur les ciments du Valbonnais. Le mortier était composé de, pour cent :

44,5 ciment
55,5 sable

et il a supporté :

| | |
|---|---|
| Après 54 jours | 21 kilogrammes |
| — 286 — | 31 — |
| — 452 — | 42 — |

On a remarqué depuis que, si la proportion de ciment est portée à 80 %, la résistance atteint 80 kilogrammes.

## § 7. — CHAUX HYDRAULIQUE ET CIMENT PORTLAND DE LAFARGE DU THEIL

### (Ardèche).

La Société Pavin de Lafarge du Theil exposait dans la classe 63, Galerie des Machines, 1er étage, une réduction de ses usines. Les produits manufacturés de ses établissements se trouvaient réunis sur la berge de la Seine, côté des Invalides.

## I. — DESCRIPTION GÉNÉRALE

1° *Historique.*— C'est en 1830 que M. Pavin de Lafarge construisit ses premiers fours. Les perfectionnements se succédant, une succursale fut fondée à Alger. Depuis le 1er août 1887, la puissance de production s'est accrue par l'annexion des usines de la Société Sollier, Brunot et Cie du Theil, de l'usine de Cruas et de celle de Meysse.

1° *Usine de Lafarge.* — L'usine de Lafarge possède 45 fours et 700 chevaux-vapeur de force. En 300 jours de travail sans effort extraordinaire, elle peut fournir 265000 tonnes de chaux et ciments. La ligne de Lyon à Nîmes passe en tunnel sous les bâtiments de l'usine avec laquelle elle se raccorde par un embranchement où se chargent les wagons. Un quai de 200 mètres de longueur permet aux vapeurs qui descendent le Rhône d'approvisionner les magasins de Saint-Louis, pendant que des bateaux plats suivent le cours du fleuve, puis le canal de Beaucaire, et vont remplir les magasins de Cette.

La carrière dont les assises surplombent tout l'établissement, a permis de réaliser le type idéal de l'usine où le calcaire subit toutes les transformations de la main-d'œuvre et passe de la mine au four ; du four à l'extinction et au blutoir, de la sacherie au wagon ou au bateau, sans jamais avoir à remonter et toujours suivant la force de la pesanteur.

2° *Usine du Theil.* — Dans l'usine du Theil proprement dite, on exploite un prolongement de la montagne de Lafarge situé sur la commune du Theil, au lieu dit le détroit. L'usine du Theil a 21 fours en activité, des salles d'extinction, des bluteries parfaitement installées et un embranchement spécial sur le chemin de fer. La production annuelle peut s'élever à 75 000 tonnes : chaux et ciments.

3° *Usine de Cruas.* — L'usine de Cruas, outre sa propre carrière, exploite aussi celle de l'ancienne usine de Clère. Les bancs de calcaire sont d'une pureté et d'une régularité remarquables. Ils sont couronnés par un banc de pierre à bâtir, de couleur rose. L'exploitation est ouverte à flanc de coteau dans un vallon perpendiculaire à la vallée du Rhône. La pierre descend à la hauteur du four par un plan incliné. Une source abondante pourvoit à la consommation de l'usine pour les machines, l'extinction et l'éclairage électrique. La chaux de Cruas a une prise plus rapide que celle du Theil, surtout dans les premiers temps de la fabrication. Elle n'a pas la même régularité et n'offre pas, paraît-il, les mêmes garanties pour les grands travaux, surtout pour les travaux à la mer. Les grappiers de cette chaux donnent un ciment de très bonne qualité, mais de couleur différente de celle du ciment de Lafarge. L'usine de Cruas a 18 fours. Sa production annuelle est de 65000 tonnes environ, chaux et ciments.

4° *Usine de Meysse.* — Enfin l'usine de Meysse a ses carrières situées dans la vallée de Lavaizon, entre le Theil et Cruas, sur la route de Meysse à Privas

Leur massif est très considérable et d'une exploitation facile. Les bancs sont quelquefois séparés par de minces couches d'argile qui altèrent un peu la pureté des produits. Cette chaux est très bonne pour les constructions à l'air. L'usine de Meysse peut produire annuellement en chaux et ciments environ 30 000 tonnes. Il y a, à Meysse, 12 fours qui, joints aux 4 de la petite usine de Mélas, portent à 16 le nombre des fours en activité.

La Société a donc en tout 100 fours ; leur force productrice, calculée à raison de 17 tonnes par jour, pendant 300 jours de travail, porterait la production annuelle possible des usines réunies à 50 000 tonnes de chaux en pierre, soit 45 000 tonnes de chaux blutée marchande.

La production de ciment est proportionnelle à celle de la chaux, elle a atteint en 1888, 36 000 tonnes.

La figure 8, planches 5-6 donne les courbes représentant l'accroissement annuel de la production.

## II. — FABRICATION DE LA CHAUX HYDRAULIQUE

1° *Carrières.* — Les carrières appartiennent à l'étage néocomien inférieur. Leur front à 110 mètres de hauteur en moyenne et 600 mètres de longueur. La masse tout entière présente une homogénéité parfaite. L'expérience a donné la composition moyenne suivante :

| | |
|---|---|
| Silice. . . | 14 à 18 % |
| Chaux . . | 48 à 44 % |

La proportion d'alumine est négligeable ; l'oxyde de fer ne dépasse pas 1 % minimum nécessaire pour faciliter les réactions de la cuisson.

La pierre a une cassure conchoïde, une sonorité franche, une couleur qui varie du gris bleu clair au jaune clair. La résistance et la finesse de ses grains la rendent propre à la construction intérieure. La silice s'y est déposée à l'état gélatineux ou en grains impalpables, visibles seulement au microscope. A l'endroit des failles se trouvent des pierres mortes dont la composition a été altérée par des infiltrations d'eau pluviale.

Les bancs de stratification se reconnaissent facilement à la simple inspection de la carrière. C'est une superposition directe sans aucune répartition terreuse. Le pendage, dans la direction du Sud-Est au Nord-Ouest, a de 8 à 10 degrés. Deux bancs principaux servent à l'exploitation actuelle. Le banc moyen a 40 mètres d'épaisseur, les autres de 20 à 30 mètres. Les bancs sont recoupés de nombreuses diaclases presque verticales, mais s'appuyant à la montagne. Les poracluses sont rares, celles qui existent déterminent des blocs immenses et rectangulaires que les carriers appellent chandelles.

*Abatage.* — La société emploie deux modes d'abatage : l'abatage extraordinaire et l'abatage ordinaire.

Dans l'abatage extraordinaire, les mines sont chargées de 10 000 à 12 000 kilogrammes de poudre. On enlève la couche de terre végétale qui recouvre la montagne et une galerie de mine est percée dans le banc inférieur, en prenant pour toit le joint de deux stratifications. On prolonge jusqu'à la profondeur qu'on veut atteindre, et on retourne la galerie à angle droit, puis on la fonce en forme de puits jusqu'à la chambre à poudre. La question à résoudre est de briser sans projections le banc inférieur, et de disloquer légèrement le reste de la montagne qui tombera ensuite dans le vide sous l'effet de son propre poids.

Il y a donc une relation à établir entre le cube à abattre, la charge de poudre, la plus courte distance du foyer au front de la carrière et la hauteur du rocher au-dessus de la charge.

Soit $C = KH^3$.

une formule dans laquelle

$C =$ charge exprimée en kilogrammes ;

$H =$ distance du fond de la poche au front de taille exprimée en mètres.

$K =$ coefficient variant d'après l'expérience entre 0,60 et 0,50, mais se rapprochant plutôt de 0,60.

Cette formule est couramment appliquée par les ingénieurs de la Société, et donne les meilleurs résultats.

L'abatage ordinaire se fait au moyen de la mine Courbebaisse, à l'acide libre ou avec siphon.

Ce procédé s'applique à la refente des gros blocs détachés par les gros coups de mines ; il sert à enlever de la montagne des masses de calcaires variant de 1 000 à 4 000 mètres cubes. Il faut environ 7 kilogrammes d'acide muriatique du commerce pour loger 1 kilogramme de poudre. On se sert aussi de cartouches de dynamite, comme moyen de déblayage dans les endroits dangereux, ce qui évite de nombreux accidents.

*Débitage.* — Les blocs sont débités à la barre à mine. On emploie aussi la méthode des petits coups de mine, 50 à 120 grammes de poudre sont versés dans des trous ayant une profondeur de $0^m,30$ à $1^m,20$.

*Cassage.* — Le cassage se fait d'abord avec une masse appelée *bourre* ; on achève avec une massette. Les morceaux obtenus ont 5 à 6 centimètres d'épaisseur, leur forme est conchoïde.

Une tonne de chaux vive demande $1^{mc}$ ou 1 650 kilogrammes de minerai. Les bennes, chargées, sur rails, amènent la pierre au gueulard même des fours. Il faut environ 70 hommes pour 700 mètres cubes.

2° *Fours.* — Les fours sont à feu continu. Ils sont coulants ; la hauteur est de $12^m,50$, mesurée de la grille au gueulard, la capacité de 75 mètres cubes et la

production de 18 tonnes de chaux en pierre environ par jour. Cette production est ainsi réglée : 16 tonnes le jour et 2 la nuit. La durée du séjour de la pierre dans le four est d'environ 3 jours.

Intérieurement les fours affectent la forme de deux troncs de cônes superposés par leur grande base. Les angles sont légèrement arrondis de manière à faire affecter à la chemise une forme ovoïde. Au-dessus de la grille, un cône métallique à jour sert à la fois à faciliter l'introduction de l'air et à diviser la chaux pour le tirage, en évitant les descentes trop brusques.

Comme nous l'avons dit, les fours sont adossés à la carrière, ce qui réduit au minimum le transport de la pierre et évite une perte de chaleur par radiation (fig. 9 et 10, pl. 5-6).

On charge par couches alternatives. La couche de calcaire est représentée par le contenu d'une benne. La couche de combustible comporte environ 120 kilogrammes de charbon maigre. Le long de la plate-forme des fours règne une balustrade en fer destinée à protéger la route qui passe au pied, des projections de pierres produites par le feu qui remonte vers le gueulard.

Le gueulard reste toujours ouvert, sauf le dimanche, ou quand le mauvais temps exige un arrêt de plus de vingt-quatre heures.

Il faut un chauffeur pour quatre fours.

Lorsque la chaux est froide on la tire, en ayant soin de rejeter les incuits. La chaux vive est reçue dans des wagons en tôle qui pénètrent sous la grille des fours, et vont de là aux salles d'extinction.

Pour 45 fours, il faut 25 tireurs ; un surveillant général dirige à la fois les chaufourniers et les tireurs. Tous ces ouvriers sont à la tâche et gagnent en moyenne : les chaufourniers, 5 francs ; les mineurs de 4 à 5 francs ; les autres de 3 à 3 fr. 50 par jour.

3° *Salles d'extinction.* — La chaux une fois cuite et refroidie est envoyée à l'extinction. On procède par aspersion avec relèvement à la pelle. On a préféré ce procédé ancien et coûteux à tous les autres qui ont été essayés.

La chaux, qui est dans le wagon venant des fours, est versée et étendue sur le sol, en avant des tas, sur une épaisseur de 12 à 15 centimètres ; les ouvriers mouillent la chaux avec des pommes d'arrosoirs, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement imbibée, puis ils la relèvent sur le talus à une hauteur de deux mètres environ.

La salle est couverte et à l'abri des variations de température. La chaux est laissée ainsi en tas de huit à quinze jours, suivant la saison. Elle s'échauffe progressivement et régulièrement, et se réduit spontanément en poudre. Les surcuits sont séparés du reste de la masse. Une partie de l'eau qui a été versée s'évapore ; celle qui est retenue à l'état d'hydrate atteint en moyenne la proportion de 7 % et ne doit pas dépasser 8 % ; on retire 14 % de grappiers.

4° *Bluteries.* — On fait passer la chaux éteinte sur une grille, dont les ouvertures carrées ont 6 centimètres de côté. Cette grille retient les incuits et les surcuits trop volumineux.

Après ce premier tirage, la chaux passe dans un blutoir armé de toiles métalliques n° 40, il en sort une fleur de chaux. Le grappier qui se trouve ainsi séparé de la fleur de chaux, est soumis à une double opération d'écrasement, d'abord entre deux meules écartées de 14 millimètres environ, puis entre deux autres meules semblables mais un peu plus serrées. Le résultat de ces deux moutures est passé dans un blutoir recouvert de toile n° 50. La fine farine qui en sort est mêlée à la fleur de chaux, pour former la chaux marchande que l'on reçoit dans des sacs.

5° *Sacherie.*— Les sacs sont en forte toile de chanvre d'une dimension telle que le contenu pèse exactement 50 kilogrammes. On fixe le sac à la trémie au moyen d'un appareil qui se détache de lui-même quand le poids normal est atteint. On lie les sacs et on les plombe, avec un plomb qui porte la marque de fabrique et l'indication du contenu. On charge ensuite les sacs sur les wagons du chemin de fer ou sur les bateaux rangés le long du quai.

Étant donné la grande quantité de chaux débitée par jour, on ne se sert pas de silos. On fait les sacs en toile de chanvre ou de phormium. On se sert encore de barils en bois d'une contenance de 250 kilogrammes les barils sont revêtus intérieurement d'un cartouche en toile formant sac, pour que la chaux ne filtre pas à travers les joints. Ces barils se font dans un atelier séparé de l'usine, mais la sacherie proprement dite occupe un vaste corps de bâtiment dans l'usine même.

6° *Propriétés. Composition chimique.* — Chaque année on fait de nombreuses analyses de la chaux du Theil, tant à l'école des Mines et à l'école des Ponts et Chaussées qu'à l'usine même. Voici la moyenne des résultats obtenus pendant les années 1887 et 1888.

| | | |
|---|---|---|
| Silice . . . . . . . . . . . | 23.25 | |
| Alumine . . . . . . . . . . | 1.4 | |
| Peroxyde de fer. . . . . . . | 0.8 | |
| Chaux. . . . . . . . . . . | 64.7 | Indice d'hydraulicité : 0.30 |
| Magnésie. . . . . . . . . . | 1.4 | |
| Acide sulfurique . . . . . . | 0.5 | |
| Perte au feu. . . . . . . . | 7.6 | |
| Total . . . . . . | 100.00 | |

Les écarts de chaque analyse n'ont pas atteint 1 % pour la silice et la chaux, à peine quelques dizièmes pour les éléments secondaires.

Des analyses sont faites également au laboratoire de la Société. On suit et on note chaque jour les variations dans la qualité de la chaux et du ciment.

*Essais mécaniques.* — On fait parallèlement deux séries d'expériences. Les unes ont pour but de reconnaître dans le plus bref délai les moindres variations dans la fabrication ; les autres, de suivre à longue échéance le durcissement final des mortiers, en comparant les produits de Lafarge avec ceux des premières marques françaises et étrangères. On compare aussi les effets obtenus avec des sables et des dosages divers.

Dans la première série de ces expériences, on fait le gâchage en pâte molle avec 6 % d'eau et on accélère la prise en posant la briquette sur une plaque de plâtre.

Dans la deuxième série on se conforme, au contraire, pour rendre les recherches comparables à celles des ingénieurs des grands ports, à la manière d'opérer adoptée par l'école des Ponts et Chaussées.

Les registres où sont consignés les résultats de ces essais, offrent les renseignements les plus précieux. On peut y suivre pendant une période de cinq ans, le durcissement des mortiers variés. Toutes les briquettes ont 5 centimètres carrés de section; les ruptures par traction sont faites avec la machine Michaëlis, mais les écrasements se font sur les deux briquettes ayant déjà servi à la traction, au moyen de l'appareil enregistreur de M. Lechatelier. Cet appareil agissant par un poinçon sur le milieu de la demi-briquette, n'est pas sujet aux secousses et aux ébranlements comme les appareils à levier ; quoique de construction délicate, il exige moins d'attention et d'habileté de la part de l'expérimentateur ; il évite la peine de construire et de conserver pendant de longs mois des cubes faits exprès pour l'écrasement.

La chaux de Lafarge, au bout de trois mois, essayée par la méthode des Ponts et Chaussées supporte une traction de 12 kilogrammes et une compression de 86 kilogrammes par centimètre carré.

Si l'on prend les moyennes des différentes expériences journalières, on obtient les résultats suivants :

| | |
|---|---|
| En 1882. . . . . . | 3k077 |
| En 1883. . . . . . | 3.163 |
| En 1884. . . . . . | 3.115 |
| En 1885. . . . . . | 3.146 |
| En 1886. . . . . . | 3.230 |
| En 1887. . . . . . | 3.388 |

Les briquettes ont 60 % d'eau. On les pose jusqu'à la prise sur une plaque absorbante. Après 7 jours d'immersion, on produit la rupture.

En 1887 la moyenne mensuelle pour les trois ateliers qui marchent constamment a été de 3 kilogrammes en mars et 3 k. 676 en juin.

Depuis quelque temps on a augmenté le volume des fours et agrandi les salles d'extinctions.

On a fait d'intéressants essais avec des briquettes de mortier dosé à 300 kilos de chaux par mètre cube de sable. On a employé un sable basaltique excellent pour les constructions. Ce sable donne dans les premiers mois une résistance un peu plus forte que le sable normal purement siliceux. Pour la chaux pure, la résistance a augmenté jusqu'à 1 k. 1/2, pour décroître un peu après. Le mortier de chaux, à 300 kilogrammes pour un mètre cube de sable a donné une résistance constamment croissante.

*Durée de la prise.* — La chaux de Lafarge fait prise en moins de deux jours. Elle doit donc à ce point de vue être classée parmi les chaux éminemment hydrauliques, quoique son indice d'hydraulicité soit 0,39.

Le commencement de la prise a lieu d'une manière assez précise. La pâte de chaux pure conserve toute sa mollesse pendant 5 ou 6 heures, puis rapidement en un espace de temps qui varie de deux à quatre heures, l'aiguille qui s'enfonçait d'abord sans obstacle, ne pénètre plus qu'à un ou deux millimètres, la pâte a changé de consistance, elle cède cependant encore sous le doigt, mais ne reprend plus sa forme première ; le durcissement continue ensuite lentement pendant un temps fort long.

La fin de la prise s'observe entre 15 et 20 heures, suivant la saison et la température de l'eau, quelquefois un peu plus tôt, quand la chaux vient du blutoir. Le temps de prise est toujours le double lorsqu'il s'agit de mortier.

*Densité.* — Prise à la sortie du blutoir, la chaux pèse par litre non tassé, de 0 k. 720 à 0 k. 820. En tassant la chaux à petits coups de maillets, on arrive facilement à lui faire peser par litre de 1 k. 100 à 1 k. 200. On peut prendre comme moyenne de la densité de la chaux au moment de son emploi $D = 0.80$.

*Finesse de mouture.* — Tamisée sur une toile de 5 000 mailles par centimètre carré, la chaux laisse en moyenne 24 % de résidu ; sur une toile de 900 mailles par centimètre carré, le résidu ne serait plus seulement que de 8 %. L'examen et l'analyse de ces résidus prouvent qu'ils ne sont pas formés de sable ou de matières inertes, mais de parties cimenteuses, qui, loin de nuire à la prise ne font que contribuer à la résistance finale des mortiers.

*Rendement.* — Un kilogramme de chaux de Lafarge pour être réduit en pâte ferme à la température moyenne de 16°, exige en moyenne 450 centimètres cubes d'eau. Cette proportion peut varier de 44 à 48% ; le volume de pâte obtenu varie peu ; elle est en moyenne de 0 lit., 850. Le rendement minimum est de 0.85.

Si la quantité d'eau strictement nécessaire est dépassée, le volume de la pâte augmente d'autant. Il y a environ 60 % d'eau. Dans un litre de pâte courante, il y a donc un kilogramme de chaux. Si l'on admet que le volume d'un sable sec a environ 35 % de vides, on voit qu'un mètre cube de sable exige 350 litres de pâte coulante, c'est-à-dire 350 kilogrammes de chaux.

*Applications.* — Le prix de revient d'un mètre cube de mortier est ordinairement estimé à 4 francs. Il tombe à 1 fr. 50, si l'on emploie un manège à roues pour le confectionner, et se réduit enfin à 0 fr. 80 avec un tonneau broyeur mû par une locomobile. Le meilleur sable à employer est le sable de rivière, à grains propres et anguleux ; le dosage doit se faire toujours au poids, à cause des variations de densité de la chaux. La pratique a donné les proportions suivantes :

| | |
|---|---|
| Pour les maçonneries aériennes. . . . . . | 250 kil. par m. cube de sable |
| — tunnels et fondations en terrain humide. | 300 — — |
| — constructions à la mer ou dans l'eau . | 350 à 450 — |

La chaux se prête bien à la confection des moulures et corniches.

Des travaux exécutés depuis plus de 50 ans dans tous les ports de la Méditerranée et dans plusieurs ports de l'Océan prouvent que les maçonneries en chaux du Theil résistent aussi bien que celles qui sont faites en ciment Portland.

Pour les bétons à la mer le mieux est de se servir du mélangeur malaxeur Coignet ou de la Bétonnière horizontale de M. Lion. Il faut un tas de pierres présentant un vide de 50 % de son volume. On prend en général un volume de mortier pour deux volumes de pierre cassée, ou, pour les blocs immergés, deux volumes de mortier pour trois volumes de pierres.

On emploie en général les proportions suivantes pour un mètre cube.

| | | |
|---|---|---|
| A la mer. . . | 200 kilogs, | si l'on ne dispose que de sable fin ou petit gravier. |
| | 170 — | avec des pierres cassées et du bon sable ; |
| En fondations . | 150 — | pour un béton ordinaire suffisamment étanche. |
| | 120 — | pour un béton maigre sous un pavage, etc. |

## III. — FABRICATION DU CIMENT

1° *Grappiers.* — Le ciment de Lafarge provient des grappiers de la chaux hydraulique faite à l'usine. D'après M. Lechatelier, une tranche mince taillée dans un grain de grappier normal et examinée au microscope polarisant offre la même constitution cristalline que les parties les mieux cuites d'une briquette de ciment de Boulogne. On voit que les cristaux de silicate de chaux s'y développent bien ; ils sont très rapprochés les uns des autres et simplement agglutinés par une gangue amorphe de couleur brune, une espèce de verre, qui doit sa fusibilité aux faibles proportions de fer et d'alumine contenues dans le calcaire.

2° *Extinction.* — La première opération à laquelle on soumet le grappier après le premier écrasement dit *décortication* est l'extinction lente à l'air libre.

On fait des tas de ce grappier et on les laisse à l'air sous des hangars couverts. L'air qui circule librement à travers ces salles, est toujours un peu humide à cause du voisinage du Rhône ; il produit donc une certaine action sur les particules de chaux qui se trouvent engagées dans le grappier et que la première extinction n'a pu atteindre. On voit les grains se couvrir peu à peu d'une certaine efflorescence assez dense et d'une couleur plus jaunâtre que celle de la chaux marchande. Cette efflorescence n'est autre que de la *chaux lourde*. Le grappier doit en rendre environ 8 %. Le silotage dure de 4 à 6 semaines suivant la saison.

3° *Blutage*. — Après ce temps de silo, on soumet le grappier à un blutage épuratoire sur un tamis de toiles métalliques n° 50. Ce tamis sépare le grappier des efflorescences de chaux lourde. Cette chaux lourde est déjà fortement silicatée. On la broye et on la tamise à la toile n° 150. Elle acquiert une prise beaucoup plus forte que la chaux proprement dite et elle peut entrer en partie dans la composition d'une espèce particulière de ciment dite *ciment blanc*. Ce ciment qui sert pour les mosaïques, est un produit spécial à la maison de Lafarge.

4° *Broyage*. — *Premier broyage*. — Les parties qui restent sur le blutoir sont soumises à un premier broyage. On se sert soit de meules très rapprochées, réglées et retaillées avec le plus grand soin, soit d'un broyeur à force centrifuge.

*Blutage*. — La fine poussière est blutée à la toile n° 100. Il se produit un résidu qu'on appelle la *sablette*, matière plus dure et plus fine que le sable à ciment. Le broyage de cette matière exige le plus grand soin ; l'air humide doit sécher les dernières particules expansives. La température ne doit pas trop s'élever sans quoi le produit final se trouverait altéré ; de là la nécessité de régler la vitesse du broyeur.

*Deuxième broyage*. — On laisse refroidir la sablette et on la conserve un certain temps à l'air. On procède à un deuxième broyage avec le broyeur *Lubac* (fig. 11, pl. 5-6). Cette appareil se compose essentiellement d'un cylindre en fonte blanche, posé sur un bâti en fonte et réglé par des vis de pression, et de palettes mobiles également en fonte blanche dont la surface agissante vient s'appliquer sur le cylindre par l'effet de la force centrifuge.

Soigneusement fixé dans sa position au moyen d'une crapaudine et d'un palier mobile munis de vis de rappel, un arbre central reçoit son mouvement d'une poulie placée au-dessous du cadre en chêne qui porte le bâti. La vitesse de cette poulie est de 180 tours par minute. Fixés sur l'arbre, se trouvent deux plateaux de fonte servant de supports à cinq tiges d'acier également distantes, autour desquelles les palettes mobiles pivotent.

Lorsque l'appareil est en mouvement, les palettes, par un effort dû à la force centrifuge et proportionnel au carré de la vitesse de rotation, exercent une pression sur les parois du cylindre fixe.

Par le moyen de deux vis sans fin et de deux couronnes héliçoïdales, l'arbre

reçoit un mouvement de va-et-vient de haut en bas. Ce mouvement déplace les palettes mobiles et permet de conserver une usure régulière sur les parois du cylindre. Une trémie fixe et une trémie mobile servent à l'alimentation du broyeur. La matière broyée sort par un orifice ménagé sur le bâti. Tombant régulièrement, après avoir subi l'action des premières palettes mobiles, elle est ramenée vers les palettes inférieures par des disques en tôle placés entre chaque rang. La matière à broyer passe successivement dans deux broyeurs.

*Blutage.* — La poudre fine est ensuite blutée à la toile n° 120.

5° *Silotage.* — Du blutoir la poudre est versée dans un silo, où elle séjourne pendant un temps variable suivant la saison. Elle est ensuite mêlée à la poudre provenant du premier broyage pour former le ciment gris ordinaire.

6° *Propriétés.* — *Composition chimique.* — On a fait de nombreuses analyses de ce ciment à l'Ecole des Mines, à l'Ecole des Ponts et Chaussées et au Laboratoire de la ville de Paris. Voici la moyenne des résultats obtenus pendant les années 1887 et 1888 : les écarts maxima étant de 1 % pour la chaux et la silice, de 0,1 % pour les autres éléments composant le produit soumis à l'expérience.

| | | |
|---|---|---|
| Sicile | 28.2 | Indice d'hydraulicité : 0.49 |
| Alumine | 1.7 | |
| Peroxyde de fer | 1.3 | |
| Chaux | 60.8 | |
| Magnésie | 1.7 | |
| Acide sulfurique | 0.3 | |
| Perte au feu | 6.0 | |
| Total | 100.0 | |

L'absence presque totale d'alumine est favorable à la hauteur de la prise et à la résistance à l'eau de mer.

*Densité.* — Le litre non tassé pèse de 1 kilog. 100 à 1 kilog. 150. L'on frappe la poudre à petits coups de maillet, sans compression, elle arrive à peser de 1 kilog. 700 à 1 kilog. 800. On peut donc prendre comme densité moyenne 1 kilog. 150.

*Finesse de mouture.* — Le ciment de Lafarge ne laisse aucun résidu sur la toile de 900 mailles par centimètre carré, et à peine 16 % sur la toile de 5 000 mailles.

*Rendement.* — Un kilogramme de ciment gâché avec 30 % de son poids d'eau donne de 640 à 660 centimètres cubes de pâte ferme.

Donc le rendement moyen est égal à 0,65.

*Durée de la prise.* — Le commencement de la prise a lieu, en général, entre 5 et 9 heures après le moment du gâchage. La fin de la prise pour une éprou-

vette en ciment pur, a lieu entre 10 et 15 heures. Pour le mortier à eau de mer, le temps requis pour la prise complète est d'une journée.

*Résistance à la traction.* — On se sert pour les essais mécaniques, de briquettes Michaëlis à 50 % d'eau, posées sur plaque absorbante. Elles ont donné, pour la charge moyenne par centimètre carré amenant la rupture, après 7 jours d'immersion, les nombres suivants :

| | |
|---|---|
| En 1882 . . . . . . . . | 18 kil. 56 |
| En 1883 . . . . . . . . | 20 — 35 |
| En 1884 . . . . . . . . | 20 — 88 |
| En 1885 . . . . . . . . | 22 — 10 |
| En 1886 . . . . . . . . | 21 — 44 |
| En 1887 . . . . . . . . | 24 — 55 |

On a fait des expériences avec des briquettes de ciment pur et avec des briquettes de mortier à 300 kilogrammes par mètre cube de sable. La résistance pour les deux espèces de briquettes a toujours été croissante, celle des briquettes de ciment pur étant la plus grande.

A partir de 6 mois, la résistance croît très lentement, à peu près dans une mesure proportionnelle au temps. La différence reste sensiblement la même entre le ciment pur et le mortier.

*Ciment blanc.* — Pour le carrelage en marbre comprimé avec du ciment, la Société Pavin de Lafarge fait un produit blanc dont la couleur n'altère pas l'éclat du marbre. Ce produit est le *ciment blanc.* Résultat d'un triage habilement fait dans les grappiers et de l'addition d'une certaine quantité de chaux lourde, ce produit a la même composition et la même résistance que le ciment gris. Il est bluté tout entier à la toile 120. Mêlé avec un sable blanc et fin, il peut servir à faire des enduits ayant le poli et la beauté du marbre; dans la fabrication des carreaux, il sert à porter les couleurs claires et donne des fonds presqu'aussi blancs que la chaux, avec une solidité plus grande.

*Applications.* — Un mortier de dosage moyen (350 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable de mer moyen bien lavé), pour être amené à une consistance pâteuse, prend généralement de 220 à 250 litres d'eau ; avec un sable très fin, il en prendrait de 350 à 400 litres. Le ciment de Lafarge, à cause de la quantité de chaux qu'il renferme, perd moins de sa résistance qu'on ne le penserait tout d'abord, quand la proportion d'eau est légèrement dépassée. Il suffit généralement de 120 à 130 litres d'eau pour un mètre cube de béton comprenant un volume de sable pour deux volumes de galets.

A l'eau de mer, le ciment de Lafarge ne donne que peu de laitance. Une pompe à main, manœuvrée par un homme, aspirant cette laitance au-dessus des couches nouvellement damées, suffit pour assurer l'adhérence parfaite des couches entre elles.

Il faut environ 300 à 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable, pour remplir les vides. Pour les bétons à la mer, on se contente de 150 kilogrammes de ciment par mètre cube de tous venants. De même pour les dallages.

*Briques.* — L'usine de Lafarge possède une machine à fabriquer les tuiles en ciment. Le type de cette machine est une presse à bras. Les briques ainsi faites ont les dimensions ordinaires : 22 cent. $\times$ 11 cent. $\times$ 6 centimètres. Un mille de ces briques exige 450 kilogrammes de ciment et 1 mètre cube de sable. Comme main-d'œuvre, il faut 22 heures de manœuvre. En admettant que le mètre cube de ciment coûte 40 francs, le prix de revient d'un mille de ces briques peut varier avec le prix du sable de 30 à 35 francs.

*Tuyaux.* — Pour la fabrication des tuyaux n'ayant pas à supporter de pression, on emploie 600 à 800 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Dans le cas contraire, on double la dose.

*Pierres moulées.* — Pour les pierres moulées le dosage est à volumes égaux. Un mètre cube de sable donne $1^{m},30$ de pierre artificielle. Le prix de la main d'œuvre est de 11 francs.

*Enduits.* — Pour les enduits, le mélange se fait avec un volume de ciment pour un volume de sable. On emploie le ciment pur lorsqu'il s'agit de moulures et d'ornements.

*Dallages.* — Lorsqu'il s'agit de dallages, le béton doit contenir 150 kilogrammes de chaux par mètre cube; quant à la chape, le mortier est fait à volumes égaux de ciment et de sable. Il faut environ un kilogramme de ciment par mètre carré de superficie et par millimètre d'épaisseur de chape.

La Société Pavin de Lafarge a obtenu un grand prix à l'Exposition universelle de 1889.

## § VIII. — CHAUX HYDRAULIQUES ET CIMENTS DU HAUT-RHONE ET DE BOUVESSE (Isère)

### MAISONS RÉUNIES DELAFORTE & Cie, THORRAND, NICOLLET & Cie

Les chaux hydrauliques du Haut-Rhône, fabriquées à Montalieu (Isère), sur la rive gauche du Rhône, à 70 kilomètres en amont de Lyon, sont depuis longtemps connues et appréciées. On fabrique différents produits :

1° *La chaux hydraulique proprement dite*, obtenue par le blutage de la poudre provenant de la chaux éteinte ;

2° *La chaux lourde*, formée de résidus du blutage ;

3° *Le Portland grappier* provenant des calcaires non étreints dans la fabrication de la chaux.

L'usine de Montalieu possède 19 fours.

A 300 mètres en amont de Montalieu, et sur la même rive, se trouve l'usine de *Bouvesse*, comprenant 10 fours.

Ces deux usines sont reliées au chemin de fer par deux embranchements industriels. Elles appartiennent à MM. Delaforte, Thorrand, Nicollet et C[ie]. Leur exposition était commune avec celle de MM. Thorrand et C[ie], de Voreppe.

1° *Gisements.* — Les deux usines sont alimentées l'une et l'autre, par les deux carrières de Bouvesse et d'Enieu.

Ces carrières appartiennent à l'étage oxfordien. Leur gisement correspond géologiquement à celui des bancs hydrauliques exploités dans le Jura suisse et dans le département de l'Ain, le plateau calcaire du nord du département de l'Isère étant formé des mêmes assises que les chaînes du Jura. D'après M. Lory, l'éminent géologue, doyen de la Faculté des Sciences de Grenoble, dans l'ensemble de ce plateau et surtout dans son versant nord-est, les bancs sont toujours faiblement et uniformément inclinés vers l'est, et cette allure très régulière est une condition excellente pour la facilité et l'extension des exploitations. Il y a là un ensemble de calcaires propres à donner des chaux éminemment hydrauliques, des chaux limites et des ciments.

Ces usines ont produit en 1886, 32000 tonnes de produits, savoir :

22.000 tonnes de chaux légère ;
6.000 tonnes de chaux lourde ;
4.000 tonnes de ciment Portland.

2° *Cuisson.* — On casse le calcaire en grains moyennemment gros, et on le verse par couches alternatives avec de l'anthracite de la Mure, dans des fours. Ceux-ci ont une forme ovoïde ; leur hauteur est de 8 mètres. Le ventre a 3 mètres de diamètre. Le calcaire décrépite sous l'action de la chaleur, par suite de la vaporisation de l'eau de carrière qu'il contient. Si le calcaire a perdu cette eau, il ne décrépite plus ; on mouille alors un peu le combustible, la vapeur d'eau facilitant la décomposition du calcaire.

M. Debray a, en effet, reconnu que la présence de l'acide carbonique formé pendant la décomposition du carbonate de chaux par la chaleur gênait la décomposition et pouvait même l'arrêter tout à fait si la pression du gaz formé était de 85 millimètres de mercure. En absorbant l'acide carbonique à mesure qu'il se produit, la décomposition continue et peut être constante.

La consommation de combustible est d'environ 150 à 160 kilogrammes par tonne de produit.

Le revêtement en briques réfractaires n'existe que dans la partie supérieure du four où se fait le coup de feu. Dans l'autre moitié du four, le revêtement est

en moellons de talcschistes de Saint-Michel (Haute-Savoie) qui ont une durée presque égale à celle des briques réfractaires.

Au bout de 80 à 86 heures, ont défourne la chaux par portions de 6 tonnes environ et à trois ou quatres reprises différentes par jour.

Au fur et à mesure qu'on charge à la brouette, on fait le triage des incuits.

3° *Extinction.* — L'extinction se fait par arrosage. On opère sur chaque brouettée de 100 kilogrammes de chaux avec 10 litres d'eau. Cette opération se fait sous un vaste hangar où la chaux est déposée. Il faut 20 jours pour que la chaux soit complètement éteinte.

On procède alors à un premier triage. On prend la poudre et on la fait passer à travers une grille à barreaux ronds en fer où chaque plein comme chaque vide est d'un diamètre égal à la grosseur du doigt. La poudre passe en laissant un résidu sur les barreaux. Ce résidu comprend :

1° *Les incuits*, faciles à reconnaître à leur forme et à leur couleur ;

2° *Les frittes*, ayant subi la fusion pâteuse, de couleur grise ;

3° *Les non éteints* dont l'extinction est très lente.

On commence par se débarrasser des incuits qui ne valent rien et qu'on rejette On porte ensuite les *surcuits* et les *non éteints* dans un concasseur à mâchoires.

Le concasseur pulvérise ces résidus. On blute la poudre ainsi obtenue et on la mélange avec celle qui a traversé la grille.

La première poudre et la deuxième ainsi obtenue traversent la grille et tombent dans un blutoir placé en-dessous. Ce mélange donne une chaux suffisamment pesante. Le blutoir est polygonal à toile métallique, numéro 40. Il se peut qu'à travers la grille passent quelques incuits et surcuits. Si petits que puissent être ces fragments, ils déchireraient la toile du tamis. Pour parer à cet inconvénient, on garnit intérieurement le blutoir d'une grille en tringles de $0^m,012$ de diamètre. Ces tringles sont disposées parallèlement à l'axe de l'appareil et espacées de $0^m,005$.

*Chaux légère.* — La poudre qui passe est une chaux légère. Elle pèse 665 kilogrammes le mètre cube. Après tassement, elle pèse 745 kilogrammes. Elle fait prise sous l'eau en quarante-huit heures.

*Chaux lourde.* — La poudre qui provient du concassage des incuits et des non éteints a été, comme nous l'avons vu, blutée avant d'être mélangée à la poudre d'extinction. De ce blutage il naît un résidu ; du second blutage des deux poudres réunies, il se forme un deuxième résidu. On les soumet tous les deux à un broyage sous des meules ordinaires, et on les passe au tamis dans un blutoir à toile métallique numéro 50.

On obtient une poudre tamisée qui constitue la chaux lourde. Ce produit pèse 1 075 kilogrammes non tassé et 1 265 tassé.

La prise se fait en 15 à 20 heures. Cette chaux reste en silos pendant trois mois pour laisser achever l'extinction.

*Ciment Portland du Haut-Rhône.* — Sur le blutoir employé à la fabrication de la chaux lourde reste un sable moyen, de couleur gris foncé. On recueille avec soin ce résidu et on le porte sous des hangars à l'abri de l'humidité, mais sous l'action de l'air. Au bout d'un mois on passe ce sable au blutoir. Comme pendant le silotage il s'est produit, par délitement, une certaine quantité de chaux, cette chaux passe seule à travers le tamis. On reprend le sable resté sur les mailles, on le porte au moulin. Là des meules, marchant avec une vitesse de cent tours par minute (diamètre $1^m,50$) écrasent ce sable. On obtient une poudre qu'on blute à la toile métallique numéro 50. Il reste encore quelques grappiers sur les mailles, on les prend et on les mélange aux grappiers définitifs.

La poudre tamisée forme le *ciment Portland du Haut-Rhône*. Son poids sans tassement, est de 1 335 kilogrammes par mètre cube. La prise est de huit à douze heures. Le temps de silos est de trois à quatre mois.

## *Analyses et essais*

Voici les résultats de l'analyse et de l'essai faits à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées en 1885.

### 1° *Chaux lourde de Bouvesse (Isère)*

| | |
|---|---|
| Silice combinée. . . . . . | 24.40 |
| Alumine. . . . . . . . . | 9.20 |
| Chaux . . . . . . . . . | 59.10 |
| Peroxyde de fer . . . . . | 3.40 |
| Magnésie . . . . . . . . | 1.25 |
| Sable inerte. . . . . . . | 1.70 |
| Acide sulfurique . . . . . | 0.95 |
| | 100.00 |

### *Indice d'hydraulicité* 0,57 *(Ciment Portland)*

| | | |
|---|---|---|
| Densité de la poudre sans tassement . . . . | | 973 kil. |
| — — avec tassement. . . . . | | 1.421 — |
| Un mètre cube de pâte contient | Chaux . . . | 1.521 — |
| | Eau de gâchage | 463 — |
| Densité de la pâte, total . . . . . . . . . | | 1.984 kil. |

*Marche de durcissement des mortiers : Prise en 2 h. 1/2*

| Nos | AGES | RÉSISTANCE par centimètre carré | | | | AGES | RÉSISTANCE par centimètre carré | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | de chaque échantillon | | | moyenne | | de chaque échantillon | | | moyennes |
| 1 | $10^h15'$ | $20^k$ | $23^k$ | $23^k$ | $22^k$ | $21^j$ | $108^k$ | $116^k$ | $102^k$ | $106^k$ |
| 2 | $19^h$ | $20^k$ | $18^k$ | $28^k$ | 22 | $1^m12^j$ | 174 | 131 | 179 | 181 |
| 3 | $1^j11^h$ | $30^k$ | $31^k$ | $30^k$ | 30 | $2^m26^j$ | 192 | 218 | 230 | 213 |
| 4 | $2^j17^h$ | $55^k$ | $46^k$ | $48^k$ | 30 | $5^m25$ | 264 | 259 | 275 | 266 |
| 5 | $5^j$ | $65^k$ | $66^k$ | $61^k$ | 64 | $12^m$ | 323 | 354 | 288 | 305 |
| 6 | $10^j$ | $85^k$ | $84^k$ | $79^k$ | 83 | | | | | |

## 2° *Chaux hydraulique de Bouvesse*

| | |
|---|---|
| Silice combinée . . . . . . . . | 1.900 |
| Alumine . . . . . . . . . . | 7.85 |
| Chaux. . . . . . . . . . . | 65.5 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . | 4.15 |
| Magnésie. . . . . . . . . . | 0.10 |
| Sable inerte . . . . . . . . | 1.90 |
| Acide sulfurique. . . . . . . | 1.05 |
| | 100.00 |

*Indice d'hydraulicité* : 0,41 (*Chaux éminemment hydraulique*)

| | | |
|---|---|---|
| Densité de la poudre sans tassement . . . . . . | | 658 kil. |
| — avec tassement. . . . . . . | | 978 — |
| Un mètre cube de pâte contient | Chaux . . . . . . | 1096 — |
| | Eau de gâchage . . | 641 — |
| Densité de la pâte . . . . . . . . . | | 1737 kil. |

*Mode de durcissement des mortiers : Prise en 9 h. 1/2*

| AGES | RÉSISTANCE par centimètre carré | | | | AGES | RÉSISTANCE par centimètre carré | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | de chaque échantillon | | | moyenne | | de chaque échantillon | | | moyenne |
| $19^h$ | $6^k$ | $6^k$ | $5^k$ | $6^k$ | $21^j$ | $23^k$ | $24^k$ | $25^k$ | $24^k$ |
| $1^j11^h$ | 46 | 37 | 36 | 40 | $1^m12^j$ | 33 | 31 | 37 | 34 |
| $2^j17^h$ | 10 | 10 | 9 | 10 | $2^m26^j$ | 66 | 74 | 08 | 69 |
| $5^j$ | 14 | 12 | 11 | 12 | $5^m25^j$ | 95 | 91 | 100 | 95 |
| $10^j$ | 15 | 19 | 18 | 17 | $12^m$ | 104 | 127 | 90 | 107 |

## § IX. — USINE DE QUILLOT FRÈRES A FRANGEY (YONNE)

MM. Quillot frères ont obtenu une médaille d'or à l'Exposition universelle de 1889. Ils exposaient au Trocadéro des échantillons de leurs produits.

L'usine a été fondée en 1848 et brevetée S. G. D. G., en 1871, pour sa fabrication par la méthode dite *par voie sèche*. Elle est établie sur le canal de Bourgogne et le chemin de fer de Paris à Lyon.

### *I. — Carrières*

Les carrières de Frangey sont taillées dans les marnes oxfordiennes et présentent une épaisseur de 30 mètres. On y trouve superposés, quoique parfaitement séparés, les deux éléments nécessaires à la fabrication du ciment Portland, l'argile et le calcaire, et dans de précieuses conditions pour obtenir un mélange parfait. Les carrières sont situées au dessus de l'usine, et les matières descendent d'étage en étage dans les triturateurs, les mélangeurs, les fours, puis dans les moulins et les magasins.

### *II. — Fabrication*

Les calcaires subissent une cuisson préalable ; puis ils sont très finement pulvérisés, séparément, réduits en poudre sèche et impalpable. On introduit les éléments argile et chaux en proportions convenables dans un malaxeur avec une très légère quantité d'eau. La poudre résultant du mélange est, à l'aide de presses puissantes, agglomérée à sec sous forme de briques ; après dessiccation elles sont soumises à la cuisson.

On évite ainsi des pertes de temps, d'espace, et surtout l'installation de bassins de dépôt. Avant de passer à la presse, on analyse et on corrige le dosage, si cela est nécessaire, et on humecte légèrement avant moulage.

L'usine possède seize grands fours verticaux qui peuvent contenir chacun 100 tonnes de ciment. Elle possède de plus un four annulaire du type Hoffmann avec une cheminée de 50 mètres de hauteur et de 2 mètres de diamètre intérieur au sommet. Le four a 66 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur. La flamme y fait de longs circuits. La briquette se transforme en une roche très régulièrement cuite. On peut atteindre la température voulue, car le feu se règle à volonté par l'addition du combustible et l'augmentation du tirage qui est commandé par un grand nombre de registres.

Le ciment cuit pèse 3 000 kilogrammes le mètre cube. La mouture se fait par des concasseurs et des meules. Les concasseurs commencent la désagrégation qui s'achève sous une série de meules horizontales. Le blutage se fait au blutoir de 185 mailles au décimètre linéaire. (Toile n° 50).

Le silotage se fait dans de vastes magasins. Le ciment est ensuite mis en sacs de 50 kilogrammes et en barils de 200 kilogrammes.

Les meules sont au nombre de 12 paires mues par 3 turbines représentant plus de 100 chevaux et par 3 machines à vapeur d'une force totale de 200 chevaux.

Ce procédé donne des résultats parfaits qui doivent être attribués à l'homogénéité de la matière sous le rapport de la composition, et surtout à la texture lâche des briquettes. La cuisson du centre des fragments diffère très peu de celle de la surface. Avec une texture serrée, au contraire, un fragment présentant tous les caractères d'une bonne cuisson à l'extérieur, peut renfermer un petit noyau insuffisamment cuit qui, réduit en poudre, pourra donner lieu à une expansion tardive en présence de l'eau. Avec un pareil procédé il est possible de diminuer l'indice.

## III. — *Essais et analyses*

A sa sortie des meules, le ciment est soumis à une série d'épreuves avant d'être livré à la consommation. On fait des briquettes soit de $0^{ms}$,916 de section, soit de $0^{mc}$,05 et terminées à chaque bout par une partie renflée qui peut être saisie solidement dans des menottes ou pinces, l'une fixe, l'autre liée au levier d'une bascule, afin d'essayer la résistance à la traction. On fait aussi des plaquettes en mortier de ciment pur. Ces plaquettes et ces briquettes sont immergées dans l'eau et conservées comme témoins de la bonne fabrication.

Pour les briquettes de $0^{m}$,05 de section, on emploie une bascule à double levier multipliant le poids par 50 (fig. 12, pl. 5-6). A l'extrémité du grand bras de levier se trouve un flacon. Ce flacon est relié par un tube en caoutchouc muni d'un robinet, avec un réservoir d'eau gradué. On a ainsi tout indiqué le volume d'eau écoulée qui charge la balance. Le réservoir gradué est un gros tube de $0^{m}$,05 de diamètre et 1 mètre de hauteur. Il est suspendu et rendu mobile au moyen d'un petit treuil, de manière à être descendu ou élevé suivant qu'on veut remplir ou vider le flacon servant de poids. Un robinet intermédiaire permet d'intercepter instantanément le courant d'eau au moment de la rupture. Une règle à trois échelles, fixée contre le tube dont elle reproduit la graduation, donne à première vue le poids d'eau écoulée. Ce poids, multiplié par 50, représente le poids réel supporté par la briquette entière, et, divisé par 5, donne le poids par chaque centimètre carré de section de la briquette.

Voici comment on opère.

La briquette d'essai ayant été placée entre les pinces, il faut :

1° Remonter la partie inférieure du tube gradué rempli d'eau, au-dessus du niveau supérieur du flacon ;

2° Equilibrer le levier de la balance par un contrepoids qui glisse sur le levier ;

3° Tendre sans tirage la briquette de ciment soumise à l'expérience, par une roue à vis à laquelle est fixée une paire de pinces ;

4° Ouvrir le robinet situé sur le parcours du tube de jonction en caoutchouc.

L'eau entrant dans le flacon pèse sur les leviers et les fait manœuvrer; l'un (celui auquel est attachée la briquette), de bas en haut ; l'autre (celui auquel est attaché le flacon), de haut en bas. Dès que la rupture se produit, on ferme le robinet du tube. Le niveau où s'est arrêté le liquide dans l'éprouvette au tube gradué donnera, sur le tableau ou règle, à la première échelle, le poids qui aura occasionné la rupture ; à la deuxième échelle, le poids par centimètre carré, et à la troisième, le poids pour 5 centimètres carrés.

Si le poids total du liquide du tube gradué n'occasionne pas la rupture de la briquette, il faut recommencer l'opération, en ayant soin de placer sur le plateau de la balance, situé au-dessous du flacon, un poids de 1, 2, 3 kilogrammes, qui se traduira par 10, 20, 30 kilogrammes sur la deuxième échelle, et par 50, 100 et 150 kilogrammes sur la troisième échelle.

Le ciment de Fangey a été soumis, pendant six mois consécutifs, à une série d'analyses et d'essais qui ont donné en moyenne les résultats suivants :

*Composition chimique (moyenne de huit échantillons)*

| | | |
|---|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . | 21.61 | |
| Alumine, . . . . . . . . | 7.53 | 32.33 |
| Peroxyde de fer . . . . . | 3.19 | |
| Chaux . . . . . . . . . . | 63.70 | |
| Magnésie . . . . . . . . | 1.22 | |
| Acide sulfurique . . . . . | 0.61 | |
| Perte au feu . . . . . . . | 2.16 | |
| | 100.00 | |

$$\text{Indice d'hydraulicité } \frac{21,61 + 7,53}{63.70} = 0,46$$

Les essais faits aux Ponts et Chaussées ont donné les résultats suivants :

| COMPOSITION DES MORTIERS | Résistance à l'arrachement des briquettes de $0^{m},16$ de section faites avec le ciment de Frangey et différentes proportions de sable après une immersion de : | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 jours | 5 jours | 1 mois | 3 mois | 6 mois | 9 mois | 1 an |
| Ciment pur | | | | | | | |
| Mortier fait avec 31 % d'eau | 121 | 230 | 338 | 382 | 383 | 443 | |
| — 1 ciment + 1 sable | 79 | 158 | 259 | 305 | 328 | 360 | 385 |
| — 1 — + 2 — | 41 | 99 | 198 | 257 | 273 | 297 | 294 |
| — 2 — + 5 — | 31 | 82 | 174 | 234 | 261 | 269 | 279 |
| — 1 — + 3 — | 24 | 65 | 149 | 193 | 221 | 232 | 239 |
| — 1 — + 4 — | 17 | 47 | 115 | 163 | 162 | 167 | 180 |
| — 1 — + 5 — | 12 | 39 | 99 | 127 | 139 | 163 | 150 |

Le mètre cube de ciment Portland artificiel de Frangey pèse :

| | |
|---|---|
| Mesuré au litre non tassé . . . . . . . . . | 1.227 kilog. |
| — au demi-hectolitre non tassé . . . . . | 1.350 — |
| — à l'hectolitre non tassé. . . . . . . | 1.400 — |
| — au mètre cube . . . . . . . . . . . | 1.500 — |

La couleur est d'un gris-perle.

## § X. — SOCIÉTÉ DES CIMENTS FRANÇAIS ET DES PORTLAND DE BOULOGNE-SUR-MER ET DE DESVRES

La société des Ciments Français et des Portland, de Boulogne-sur-Mer et de Desvres, a été formée par la réunion des anciennes maisons Demarle et Lanquéty, et Fauchon et Cie. Cette Société exposait dans la classe 63. Elle était hors concours, M. Fauchon étant membre du jury.

MM. Dupont et Demarle fondèrent, en 1845, l'usine de Boulogne-sur-Mer· Sa production alla sans cesse en augmentant. En 1860, l'usine pouvait livrer 12 000 tonnes par an; actuellement le chiffre s'est élevé à 14 000.

Le ciment Demarle et Lonquéty possède une énergie considérable; les mortiers faits avec ce ciment acquièrent en peu de jours, dans l'eau aussi bien qu'à l'air, une dureté extrême, et de plus ils peuvent supporter des doses de sable très élevées : on peut aller jusqu'à dix parties de sable pour une de ciment.

Il résiste parfaitement à l'eau de mer. Sa durée dans ce liquide peut être considérée comme indéfinie. Les travaux exécutés depuis plus de quarante ans avec

ce ciment, dans les ports de la Manche et de l'Océan, sont restés intacts. Sa prise est très lente ; elle permet de préparer facilement de grandes quantités de mortiers d'une seule fois et d'employer pour les confectionner des moyens économiques, tels que turbines, manèges, etc., avantages très importants quand il s'agit d'alimenter de grands chantiers ; elle évite, en outre, la nécessité d'ouvriers spéciaux ; les maçons les moins habitués au maniement du mortier de ciment le mettent en œuvre sans difficulté et sans en altérer les propriétés.

Ces qualités exceptionnelles proviennent de la fabrication même du Portland qui, par sa cuisson très élevée et par sa régularité parfaite de composition, le place bien au-dessus des autres ciments naturels, tel que le Romain par exemple, qui est le produit de la cuisson à une température relativement faible, de calcaires naturels de composition plus ou moins régulière.

Nous donnons ci-contre les résultats d'essais faits sur les rendements obtenus avec des dosages variant de 150 à 750 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable. On avait choisi deux sables de grosseurs très différentes pour bien faire remarquer l'influence de cet élément sur le rendement.

Les dosages en volume, du moins pour le ciment, doivent être abandonnés ; ils présentent trop d'incertitude. Le sable peut se mesurer avec assez d'exactitude en volume, mais il doit être sec ; s'il est humide, il pèse moins sous le même volume.

Les ciments de Boulogne sont remarquables par leur finesse. Les expériences les plus concluantes ont démontré que les résistances des mortiers, aussi bien à la traction qu'à la compression croissaient dans des proportions considérables à mesure que la finesse du ciment était plus grande. C'est pourquoi la Société s'est efforcée de donner, à ce point de vue, toute l'énergie possible à ses produits. On tolère encore aujourd'hui dans beaucoup de cahiers des charges un résidu maximum de 10 % sur le tamis de 324 mailles par centimètre carré (n° 50).

Les ciments de Boulogne ne laissent aucun résidu sur ce tamis et ils ne laissent que :

3 à 4 % sur celui de 900 mailles par cent (n° 80) ;
25 à 30 % sur celui de 5,000 mailles par cent (n° 200).

Voici les résultats d'essais faits sur la résistance de ces ciments à la traction et à l'écrasement, obtenus pendant les années 1884 et 1885 ;

1° A l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées ;
2° Au laboratoire des Ponts et Chaussées du Pas-de-Calais.

## RÉSULTATS D'ESSAIS

| | QUANTITÉ DE CIMENT | MORTIER A MAÇONNER | | MORTIER COMPRIMÉ | | | QUANTITÉ DE CIMENT | MORTIER A MAÇONNER | | MORTIER COMPRIMÉ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | QUANTITÉ d'eau employée | VOLUME de mortier | QUANTITÉ d'eau employée | VOLUME de mortier | | | QUANTITÉ d'eau employée | VOLUME de mortier | QUANTITÉ d'eau employée | VOLUME de mortier |
| | kil. | litres | mèt. cube | litres | mèt. cube | | kil. | litres | mèt. cube | litres | mèt. cube |
| 1 mètre cube de sable fin pour | 150 | 260 | 1.01 | 150 | 1.00 | 1 mètre cube de gros gravier pour | 150 | 118 | 0.96 | 68 | 0.96 |
| | 250 | 270 | 1.05 | 150 | 1.04 | | 250 | 150 | 1.00 | 100 | 0.98 |
| | 350 | 270 | 1.08 | 180 | 1.06 | | 350 | 170 | 1.02 | 108 | 1.00 |
| | 450 | 300 | 1.12 | 200 | 1.11 | | 450 | 190 | 1.03 | 130 | 1.01 |
| | 550 | 335 | 1.20 | 200 | 1.15 | | 550 | 220 | 1.05 | 135 | 1.02 |
| | 650 | 342 | 1.25 | 225 | 1.21 | | 650 | 230 | 1.06 | 140 | 1.04 |
| | 750 | 362 | 1.31 | 235 | 1.23 | | 750 | 250 | 1.11 | 160 | 1.08 |

| ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES | RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A LA TRACTION | | A L'ÉCRASEMENT | |
| | après 7 jours | après 28 jours | après 7 jours | après 28 jours |
| Ciment gâché à l'eau douce | 34 kil. | 53 kil. | 382 kil. | 699 kil. |

| LABORATOIRE DU PORT DE CALAIS | RÉSISTANCE A LA TRACTION par centimètre carré | |
|---|---|---|
| | après 7 jours | après 28 jours |
| Ciment pur gâché à laver . . . . . . . . . | 50 kil. | 70 kil. |
| Mortier de 1 décimètre cube paur 3 de sable normal. | 17 kil. | 23 kil. |

Les ciments de la Société sont employés dans tous les ports du littoral de la Manche, de l'Océan et de la Méditerranée. Ils ont été employés pour la canalisation des eaux de la Vanne et de la Dhuis et pour la construction des différentes expositions universelles à Paris depuis 1867.

## § XI. — COMPAGNIE NOUVELLE DES CIMENTS PORTLAND DU BOULONNAIS

La compagnie nouvelle des ciments Portland du Boulonnais exposait dans la classe 63 différents échantillons de briquettes, dallages, etc., fait avec son ciment. Elle a obtenu une médaille d'or.

La Compagnie s'est efforcée de créer en France un établissement réunissant tous les perfectionnements connus. Elle a fait, pour arriver à ce résultat, étudier en France, en Angleterre et en Allemagne, les conditions diverses de fabrication de ces trois pays et ensuite arrêté le plan de son usine d'après les données recueillies par les ingénieurs qu'elle avait chargés de ces études.

La Compagnie a son usine à Desvres près de Boulogne-sur-Mer. Parmi les améliorations multiples apportées à la fabrication, il faut citer la finesse de mouture. Il est reconnu aujourd'hui que plus le ciment est fin, plus il est actif. En effet, les matériaux qui concourent à former le mortier sont plus intimement mis en contact avec le ciment destiné à former la gangue, s'il est subdivisé en un plus grand nombre de parties. Toutes les molécules, dans ce cas, ont leur effet utile, tandis que les gros grains qui se rencontrent dans les ciments moins

finement broyés n'agissent pas autrement que ne le feraient le gravier ou autres matières inertes. De la sorte, il est possible d'employer une plus grande quantité de sable dans la confection du mortier, et, par conséquent, d'en diminuer le prix de revient.

Un point important à signaler : l'usine de Desvres ne fabrique qu'une seule espèce de ciment, le ciment Portland. Les ciments portant la marque Sphinx sont toujours de qualité supérieure, à celle dite à dallage.

Nous donnons ci-après quelques résultats d'analyses diverses auxquelles ont été soumis les ciments de Desvres.

1° Analyse faite au laboratoire de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées le 18 octobre 1884.

On a obtenu les résultats suivants :

| | |
|---|---|
| Silice . . . . . . . . . . | 28.80 |
| Alumine . . . . . . . . . | 7.15 |
| Peroxyde de fer . . . . . . | 2.35 |
| Chaux . . . . . . . . . . | 63.35 |
| Magnésie . . . . . . . . | 1.05 |
| Acide sulfurique. . . . . . | 0.45 |
| Perte au feu . . . . . . . | 1.85 |
| | 100.00 |

Il a été préparé avec ce ciment, en pâte ferme, 18 briquettes d'essais qui ont été immergées aussitôt qu'elles ont pu être démoulées. Un tiers de ces briquettes a été sorti de l'eau cinq jours après fabrication et soumis immédiatement à des essais de résistance à la traction et à la compression ; un autre tiers a subi la même épreuve quinze jours après la fabrication. Le dernier tiers a été soumis aux mêmes épreuves après un mois seulement.

Ces essais ont donné les résultats suivants :

| | RÉSISTANCE PAR CENTIMÈTRE CARRÉ à la rupture | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Par écrasement après | | | Par arrachement après | | | |
| | 5 jours | 15 jours | 1 mois | 5 jours | 15 jours | 1 mois | |
| Briquettes n° 1. | 16k8 | 27k0 | 35k0 | 156k | 257k | 357k | L'écrasement après 5 et 15 jours a eu lieu sur les briquettes réunies deux à deux. |
| — 2. | 16.2 | 26.6 | 35.4 | | | 339 | |
| — 3. | 18.6 | 28.2 | 35.8 | 156 | 270 | 351 | |
| — 4. | 17.6 | 30.2 | 35.2 | | | 348 | |
| — 5. | 18.6 | 24.8 | 35.0 | 160 | 260 | 357 | |
| — 6. | 19.2 | 29.6 | 35.4 | | | 342 | |
| Moyennes . . | 17k83 | 29k73 | 35k30 | 157k3 | 262k3 | 349k0 | |

2° Analyse faite au laboratoire du port de St-Nazaire.

| | | |
|---|---|---|
| Poids de 10 litres de ciment mesurés sans tassement . . . . | | 12$^k$500 |
| Résidus de 10 litres de ciment mesurés sans tassement . . . . . . . . | Tamis n° 35 environ . | 1/2 centil. |
| | — 45 — . | — |
| Moyenne de vitesse de prise. . . . | Consistance. . . . | 3$^h$47 |
| | Coulis . . . . . . | 5.48 |

| DURÉE DE L'IMMERSION | POIDS MOYEN DE RUPTURE PAR FLEXION | | | | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|
| | Par centimètre carré | | Par centimètre carré | | |
| | Consistance | Coulis | Consistance | Coulis | |
| 2 jours . . . | 302$^k$ | 240$^k$ | 7$^k$550 | 6$^k$000 | Ciment provenant du chargement du vapeur *Léon* expédié le 30 juillet 1884. |
| 7 jours . . . | 595 | 436 | 14.875 | 10.900 | |
| 1 mois . . . | 816 | 673 | 20.400 | 16.825 | |
| 3 mois . . . | 940 | 900 | 23.500 | 22.525 | |

3° Analyse faite par l'administration des Chemins de fer de l'Etat. Ligne de Cavaignac à Bordeaux.

Briquettes de 16 centimètres carrés de section de rupture, et en ciment pur.

| | | |
|---|---|---|
| Rupture . . . | Au bout de 5 jours . . . | 10 à 11 kil. par centim. carré |
| | — 8 jours . . . | 13 à 14 — |
| | — 15 jours . . . | 23 à 24 — |
| | — 30 jours . . . | 28 à 30 — |

## § XII. — SOCIÉTÉ DES CHAUX ET CIMENTS DE BERRY-AU-BAC (AISNE)

La Société des Chaux et Ciments de Berry-au-Bac (Aisne) exposait différents échantillons de ses produits en chaux grasse, chaux hydraulique, ciment prompt et ciment à prise lente. Elle a obtenu une médaille d'argent.

La région située au nord de Paris, et notamment les départements de l'Aisne et de l'Oise, de la Somme et du Nord, repose en grande partie sur le terrain tertiaire et le terrain crétacé supérieur, lesquels ne fournissent pas, en général, de calcaires argileux naturels propres à la confection immédiate des chaux éminemment hydrauliques; aussi est-elle tributaire des usines renommées du centre

de la France : Ville-sous-la-Ferté (Aube), Beffes (Cher), le Teil (Ardèche), mais surtout des usines Belges (Tournay, Chimay, Nîsmes-les-Marienbourg, etc.), qui inondent de leurs produits toute la zone située au Nord d'une ligne partant de Reims et passant par Soissons, Compiègne, Beauvais et Rouen.




Echelle de $\frac{1}{1\,000\,000}$

Fig. 8

*Chaux naturelles Belges.*— Les chaux Belges proviennent de la calcination des calcaires argileux naturels appartenant aux terrains carbonifères, leurs usines placées sur les gisements mêmes sont situées au centre des bassins houillers dont elles emploient les menus, et elles se trouvent par suite dans une situation exceptionnelle pour produire à bon marché.

Avec la facilité des transports qui résulte de leur situation au bord des grandes voies navigables, on s'explique que les chaux hydrauliques de la région de Tournay, pénètrent si avant dans notre pays, au grand détriment de l'industrie française qui, jusqu'ici, n'avait pu soutenir la lutte.

*Chaux artificielles.* — Il était réservé à la Société de Berry-au-Bac de combler cette lacune ; n'ayant pas à compter sur les calcaires naturels dont l'irrégularité de composition est d'ailleurs une source de graves mécomptes, M. A. Deville, le fondateur de cette Société, a entrepris en 1882 la tâche de doter notre

pays de produits éminemment hydrauliques obtenus artificiellement, lesquels présentent sur les produits naturels l'avantage précieuxd'une composition homogène et constante.

Cette composition une fois arrêtée et reconnue satisfaisante, est réglée mathématiquement à l'aide de compteurs spéciaux, sans préjudice des analyses fréquentes qui permettent au besoin de ramener les dosages aux proportions voulues.

Tel est le secret de la grande faveur dont ces produits jouissent auprès des constructeurs qui se trouvent ainsi assurés contre tous les mécomptes.

Exploitant depuis nombre d'années sur une très grande échelle des craies en blocs pour sucreries, verreries, etc., qui laissaient, bon an mal an, sur les carrières, 25 à 30 000 tonnes de débris non utilisables, formés d'un carbonate de chaux très pur, elle était seule à même, en raison de la valeur presque nulle de ces débris, et aussi grâce à une situation unique (fig. 9), du fait de la jonction de trois canaux rayonnant dans toutes les directions, d'entreprendre de refouler les chaux belges dans leurs limites naturelles, au grand profit des grandes entreprises de travaux publics et de l'industrie nationale.

Etant donné que le carbonate de chaux forme les 4/5 des calcaires argileux qui fournissent les chaux éminemment hydrauliques et les ciments, la Société de Berry-au-Bac a réussi après bien des recherches et des essais, et en s'inspirant des travaux de Vicat et d'autres savants, à reconstituer artificiellement, et par la synthèse, trois produits renommés qui jouent le rôle le plus important dans les grandes constructions, savoir :

1° La chaux éminemment hydraulique dite du Teil qui représente le type le plus parfait des chaux hydrauliques et possède seule, entre toutes, la propriété de résister à l'action des eaux de la mer.

2° Le ciment à prise prompte, dit ciment de Vassy, qui est précieux surtout pour les travaux de canalisation et les enduits.

3° Le ciment à prise lente, dit ciment Portland, qui est surtout employé dans les grands travaux publics.

Nomenclature des produits fabriqués à Berry-au-Bac : Les usines de Berry-au-Bac sont le berceau d'une industrie multiple qui comprend :

1° Les chaux grasses à bon marché pour l'agriculture et l'industrie ;

2° Les chaux hydrauliques artificielles ;

3° Les ciments de différentes espèces ;

4° Les blancs en pains et en poudre, dits blancs d'Espagne, ou de Troyes, pour la peinture et l'industrie ;

5° Les tuyaux et autres ouvrages confectionnés avec ces produits.

Jusqu'ici, la chaux éminemment hydraulique artificielle, similaire de la chaux du Teil a seule été produite industriellement aux usines de Berry-au-Bac, et a obtenu différentes attestations.

Les efforts de la Société ont eu pour sanction l'admission de ses produits après les épreuves d'usage, dans la série de la Société centrale des Architectes (Edition de 1885).

L'analyse comparée de la chaux de Berry-au-Bac avec celle du Teil dénote une proportion équivalente de silice, et à dessein, une proportion supérieure d'alumine, car bien qu'il soit maintenant établi que ce dernier corps combiné avec la chaux (aluminate de chaux) ne concourt pas au durcissement final du mortier à cause de sa solubilité dans l'eau, on est d'accord sur la propriété dont il jouit d'accélerer la prise initiale et de donner ainsi le temps au silicate de chaux de se former.

*Situation et importance des usines de Berry-au-Bac.* — Les usines de Berry-au-Bac (fig. 1, pl. 7-8) sont situées sur les carrières mêmes qui comprennent une surface de 10 hectares environ et une masse exploitable que l'on évalue à plus de 100 mètres de puissance sans aucun découvert ; elles peuvent donc être considérées comme inépuisables.

Les installations et exploitations comportent en dehors des gisements de craies et d'argile (ces derniers situés sur différents points parfois assez éloignés, mais tous accessibles par eau) une usine à vapeur avec toutes ses dépendances établies sur les carrières mêmes, comprenant broyeurs, malaxeurs, élévateurs avec bassins de dosage et de décantation (3 000 mètres carrés) pour recevoir la matière triturée, puis des fours, halles d'hydratation, bluteries et meules, le tout produisant actuellement cent cinquante mille sacs de chaux hydraulique par an.

Les installations seront sous peu doublées.

*Prix de vente.* — Grâce à cette situation et à l'organisation qui permet l'utilisation des débris de calcaires, lesquels autrefois étaient une cause d'encombrement, la chaux de Berry-au-Bac qui pèse, comme celle du Teil, 700 kilogrammes environ le mètre cube en poudre, était livrée en 1889 au prix de 12 fr. 50 le mètre cube en sacs plombés, soit un franc le sac de 80 litres, sur wagon à Guignicourt ou sur bateau à Chauny ou à Tergnier aussitôt l'ouverture du canal de l'Oise à l'Aisne.

*Analyse de la craie de Berry-au-Bac*
*École Nationale des Ponts et Chaussées,* (20 juin 1881)

| | BANC DU MILIEU | BANC INFÉRIEUR |
|---|---|---|
| Résidu insoluble . . . . . . . . | 2.30 | 2.25 |
| Alumine et peroxyde de fer . . . . | 0.85 | 0.75 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . | 54.15 | 54.05 |
| Magnésie . . . . . . . . . . | 0.40 | 0.35 |
| Perte au feu (acide carbonique). . . | 42.30 | 42.60 |
| | 100.00 | 100.00 |

*Analyse comparée des chaux hydrauliques du Teil (Ardèche) et de Berry-au-Bac (Aisne)*

| | TEIL (naturelle) | BERRY-AU-BAC (artificielle) |
|---|---|---|
| Sable siliceux . . . . . . . . . . | 0.00 | 1.35 |
| Silice combinée. . . . . . . . . | 23.13 | 24.45 |
| Alumine . . . . . . . . . . . . | 1.72 | 6.10 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . | 0.73 | 1 20 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . | 63.70 | 59.65 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . | 0.97 | 0.30 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . | 0.00 | 0.20 |
| Perte au feu. . . . . . . . . . | 9.69 | 6.75 |
| Total. . . . . . . . | 100.00 | 100.00 |
| Indice d'hydraulicité . . . . . . . | 0.49 | 0.52 |
| Poids du litre mesuré sans tassement . | $0^{k}720$ | $0^{k}724$ |
| Prise de la chaux en pâte ferme à l'aiguille Vicat . . . . . . . . . | 36 heures (Durand-Claye) | 28 heures Ponts et Chaussées |

*Notice géologique*

*Terrain crétacé. — Aptien. — Formation néocomienne*

| LE TEIL | BERRY-AU-BAC |
|---|---|
| Calcaire à Criocères, donnant par la simple calcination, la chaux éminemment hydraulique siliceuse du Teil (Ardèche), mélange interne résultant de dépôts sédimentaires. | Argiles ostréennes, de la région de Saint-Dizier (Haute-Marne) contenant les éléments essentiels du calcaire hydraulique du Teil, et reproduisant ce calcaire par l'addition et le mélange avec la craie de Berry-au-Bac. — Mélange artificiel à grande eau. |

*Terrain jurassique inférieur. Lias supérieur. Noarcien*

| VASSY | BERRY-AU-BAC |
|---|---|
| Calcaire, donnant par une calcination modérée le ciment à prise prompte dit ciment Vassy. — Mélange intime résultant de dépôts sédimentaires. | Argiles de la région des Ardennes, contenant les éléments essentiels des marnes à ciment de Vassy et reproduisant ces marnes, par le mélange avec la craie de Berry-au-Bac. — Mélange artificiel. |

## § XIII. — SOCIÉTÉ ANONYME DES CHAUX HYDRAULIQUES ET CIMENTS DE L'AUBE.

*Exploitation.* — Les principales usines de la Société sont à Ville-sous-La Ferté (Aube) où elle exploite les usines du Seilley, de Saint-Bernard et la Forêt. Elle a aussi l'usine des côtes d'Alun près Chaumont (Haute-Marne) produisant aussi une chaux hydraulique employée dans les travaux du canal de la Marne à la Saône. Elle est propriétaire à Ancy-le-Franc (Yonne) de dépôts marneux très puissants avec lesquels elle fabrique dans ce pays une chaux éminemment hydraulique; elle possède 7 hectares de carrières de 40 à 50 mètres de hauteur en moyenne. Elle s'est installée dans les anciennes forges d'Ancy-le-Franc qui ont 10 hectares de superficie, sur un bras du canal de Bourgogne qui arrive au milieu de l'usine. La Société est ainsi propriétaire avec les carrières de 17 hectares de terrains, c'est-à-dire que l'installation peut suffire à tous les besoins.

Les dépôts que la société exploite sont les marnes oxfordiennes ; ce sont les mêmes dépôts qu'emploient à côté MM. Quillot frères pour faire du Portland.

Aussi la chaux obtenue est-elle d'une qualité exceptionnelle.

L'ensemble des fours des usines de la Société se monte au chiffre de 97. Ils sont à feu continu. Chaque usine possède tous les appareils nécessaires à l'exploitation des carrières, à la cuisson de la chaux, à son extinction et à son blutage.

Quatorze machines à vapeur fixes ou locomobiles, représentant une force totale de 250 chevaux-vapeur, communiquent le mouvement à l'outillage.

Les silos permettent d'avoir toujours en préparation au moins 75 000 mètres cubes de chaux d'avance.

Deux usines sont reliées au chemin de fer de l'Est par des embranchements particuliers.

La production journalière de la Société est de 500 tonnes.

*Composition. Dosage.* — Nous donnons les compositions diverses des chaux des nombreuses usines de la Société. Ces différentes analyses montrent les qualités de ces chaux, mais il y a deux observations à faire à ce sujet.

1° On constate dans ces chaux l'absence presque complète du sable ou silice libre. Elles sont donc faciles à gâcher avec la plus grande quantité de sable possible. Le mortier étant plus gras, n'adhère que mieux aux différents matériaux de construction ;

2° On porte le calcaire à une assez haute température pour obtenir le Portland. La totalité de l'alumine se combine à la silice avec une quantité de chaux convenable pour former un silicate double d'alumine et de chaux. Le reste de la silice s'unit à la chaux pour faire un silicate simple de chaux. Il reste un excès de chaux libre qui dans les maçonneries à la mer enveloppe les mortiers et les préserve des atteintes des agents destructeurs.

Voici l'analyse d'un échantillon pris dans chacune des usines, en supprimant les petites proportions de sesquioxyde de fer et de magnésie :

| | |
|---|---|
| Chaux | 697 |
| Silice | 187 |
| Alumine | 75 |
| Total | 959 |
| Corps non dosés | 41 |
| | 1000 |

Prenons les équivalents des trois corps dosés :

$$CaO = 28$$
$$SiO^3 = 45$$
$$Al^2O^3 = 53.34$$

75 parties d'alumine se combinent avec 41 de chaux et 22 de silice pour former le silicate double

$$SiO^2S\ (Al^2O^3\ CaO) = \qquad 138$$

Il restera 187 — 22 = 165 parties de silice, qui se combineront avec 308 parties de chaux pour former un silicate de chaux

| | |
|---|---|
| $SiO^3, 3\ CaO =$ | 473 |
| Il restera 697 — (41 + 308) = chaux libre | 348 |
| Total | 959 |

Le durcissement n'est pas alors aussi complet qu'avec les chaux siliceuses, mais on remédie à cet inconvénient en gâchant les chaux avec deux ou trois fois leur volume de sable. En revanche le silicate double donne au mortier plus de cohésion et plus de dureté qu'on n'en rencontre dans les mortiers de chaux siliceuses.

Voici les tableaux résumant la composition chimique des chaux des usines de la Société.

1° *Chaux du Seilley.*

Analyse faite en 1858 à l'École des Ponts et Chaussées.

| | |
|---|---|
| Silice . . . . . . . . . . . . . | 19.90 |
| Alumine et peroxyde de fer. . . . . | 9 40 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . | 56.40 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . . | traces |
| Acide sulfurique. . . . . . . . . | fortes traces |
| Eau et acide carbonique perdus au rouge vif . . . . . . . . . . . . | 12.80 |
| Matières non dosées et pertes . . . . | 1.50 |
| | 100.00 |

*N. S.* Cette chaux se rapproche beaucoup par sa composition des chaux éminemment hydrauliques du Teil et de Montélimart.

Depuis cette époque, l'exploitation s'étant avancée dans la masse, la composition chimique moyenne du front d'abatage s'est améliorée. La proportion de silice et d'alumine est devenue notablement plus grande.

2° *Chaux Couvert et Maugras.*

Analyse faite au même laboratoire en 1863.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Argile. | Silice. . . . . | 18.70 | 30.10 |
| | Alumine et peroxyde de fer . . . . | 10.50 | |
| | Magnésie. . . . | 0.90 | |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . | | | 59.70 |
| Acide sulfurique . . . . . . . . | | | traces |
| Eau et acide carbonique perdus au rouge vif . . . . . . . . . . . . | | | 10.10 |
| Matières non dosées et pertes . . . . | | | 0.10 |
| Total . . . . . . . . . | | | 100.00 |

D'après cette analyse, on voit que l'indice d'hydraulicité est :

$$\frac{\text{Argile}}{\text{Chaux}} = \frac{30.10}{59.70} = 0.504$$

Cette chaux doit donc être classée parmi les chaux éminemment hydrauliques. Le calcaire exploité renferme tous les éléments nécessaires pour fournir, en produisant un excès de cuisson, du bon ciment de Portland.

3° *Usine des côtes d'Alun.*

Analyse faite en 1876 à l'Ecole des Ponts et Chaussées et à l'Ecole des Mines. On a pris des calcaires servant à fabriquer la chaux hydraulique, et ceux pouvant faire du ciment à prise rapide d'une grande dureté finale.

| | Pierre à chaux | Pierre à ciment |
|---|---|---|
| Résidu argileux (insoluble sur acide). . . | 12.30 | 17.90 |
| Alumine . . . . . . . . . . . . . . | 3 00 | 4.45 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . . . | 1.20 | 0.85 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . . | 43.70 | 37.40 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . | 1 | 1.20 |
| Perte au feu et produits non dosés . . . | 38.80 | 38 20 |
| Total. . . . . . . . . . | 100.00 | 100.00 |
| Indice d'hydraulicité . . . . . . . | 0.35 | 0 60 |

Le premier calcaire peut donner de la bonne chaux hydraulique.
Le deuxième peut fournir du ciment genre Portland.

4° *Usine des côtes d'Alun.*

Deuxième analyse faite en 1877 à l'Ecole des Mines.
Deux échantillons présentés :

| | N° 1 Calcaire tendre | N° 2 Calcaire dur |
|---|---|---|
| Sable et argile . . . . . . . . . . | 14.60 | 19.30 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . . . . | 1.00 | 1.20 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . . | 45.50 | 42.00 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . . . | 1.10 | 1.35 |
| Sulfate de chaux. . . . . . . . . . | traces | traces |
| Perte par calcination . . . . . . . | 37.60 | 36.00 |
| | 99.80 | 99.85 |

5° *Usine de la Gravières à Mussy-sur-Seine*
(ancienne usine Thiney).

Analyse faite en 1867 au laboratoire des Ponts et Chaussées.

| | |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . . . | 15.70 |
| Alumine et peroxyde de fer . . . . . . | 6.85 |
| Chaux . . . . . . . . . . . . . . | 57.85 |
| Magnésie . . . . . . . . . . . . . | 0.55 |
| Eau, acide carbonique, sels alcalins, matières non dosés. . . . . . . . . . . . . | 19.05 |
| Chaux éminemment hydraulique . . . . | 100.00 |

6° *Usine de la Gravières à Mussy-sur-Seine.*

Deuxième analyse faite en 1855 à Troyes par M. Braconnier, ingénieur des mines :

| | |
|---|---|
| Perte au feu. . . . . . . . . . . | 37.35 |
| Silice . . . . . . . . . . . . . . | 15 50 |
| Alumine . . . . . . . . . . . . . | 5 58 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . . . | 1.67 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . | 40.10 |
| Magnésie. . . . . . . . . . | 0.16 |
| Total . . . . . . . . . | 100.36 |

*Résistance.* — Les expériences de résistance des chaux de l'Aube, ont été faites par l'un des services du chemin de fer de l'Est; les courbes reproduites ci-après donnant les résultats de ces expériences qui ont été faites non pas sur des échantillons fournis par les usines, mais bien sur des chaux prises au hasard par les agents de la Compagnie et sur ses chantiers, sans en avoir prévenu les fabricants (fig. 9).

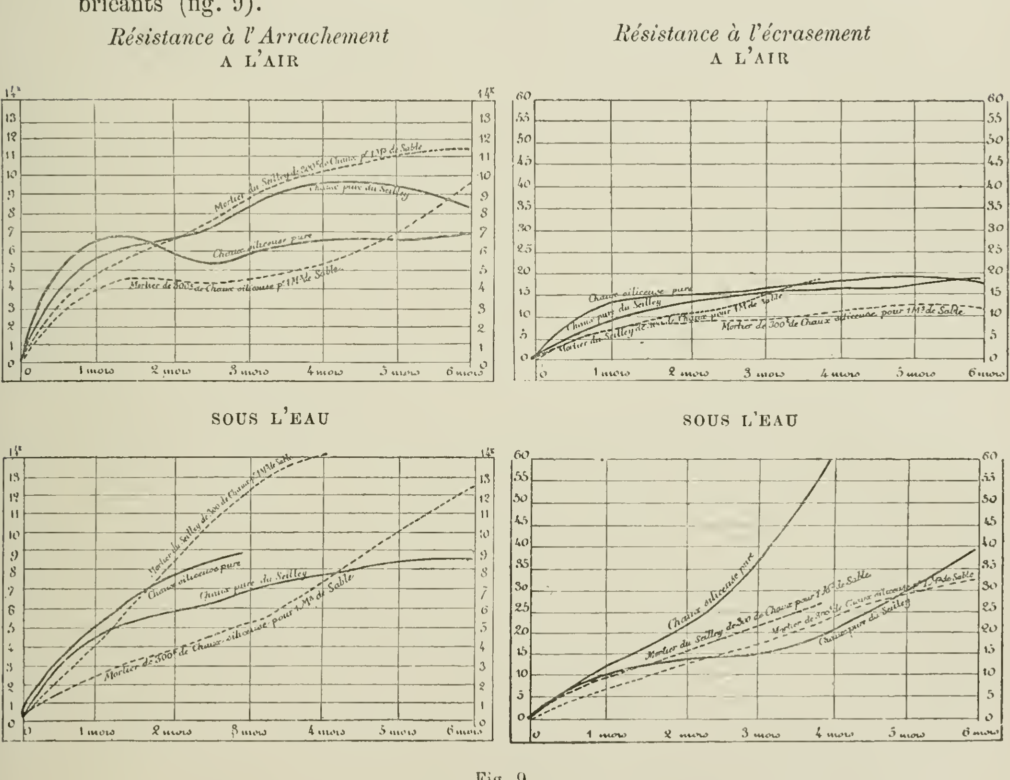



Fig. 9

*Dosage.* — En principe pour faire le mortier, il faudrait employer la quantité de chaux nécessaire pour combler tous les vides du sable mouillé, plus 1/10 destiné à former des gangues autour de chaque grain de sable : comme la chaux en poudre perd environ un cinquième de son volume pour se réduire en pâte, on augmente de 1/5 la proportion de chaux nécessaire, et même plus si l'on veut une

prise plus rapide : on prend environ 2/5 pour les bétons immergés, la laitance en enlevant une partie.

En pratique avec le sable ordinaire, de grosseur moyenne, on emploie généralement :

1° 300 kilos de chaux pour 1 mètre cube de sable, dans les mortiers employés à l'air ;

2° 350 kilos de chaux par mètre cube de sable, dans les mortiers employés en fondation ;

3° Environ 400 kilos de chaux par mètre cube de sable, dans les mortiers employés dans l'eau.

*Mode d'emploi.* — Il est préférable de faire le dosage à sec ; le mélange du sable et de la chaux s'opère à sec plus facilement. Il faut environ 35 litres d'eau pour réduire en pâte un sac de chaux de 80 litres pesant 50 kilogrammes, et il faut environ 15 de ces sacs pour fournir un mètre cube de chaux en pâte. Il est très important de ne pas fabriquer les mortiers de chaux hydraulique plus de 2 ou 3 heures avant emploi, et surtout de ne pas employer des mortiers de la veille, car ils ont un commencement de prise, et on obtiendrait alors une diminution de cohésion.

La chaux d'Ancy-le-Franc fait prise complète avant quarante-huit heures ; elle pèse de 625 à 650 kilogrammes le mètre cube.

*Ciment.* — Dans les carrières de la Société, presque tous les bancs à chaux hydraulique sont séparés par d'autres de faible épaisseur auxquels ils sont plus ou moins adhérents et qui ont la composition du Portland. La richesse en argile et la pauvreté en carbonate de chaux de ces petites couches intermédiaires les rendent impropres à la fabrication de la chaux hydraulique : après une cuisson aussi complète que possible, et à une température très élevée au lieu de se réduire en poudre à l'extinction, elles ne font que se séparer en petits morceaux que l'on nomme grappiers. La Société de chaux hydrauliques et ciments de l'Aube a continué le système inauguré par M. François Coignet dans l'exploitation des usines du Seilley. L'installation mécanique permet, au moyen de triturations et de blutages successifs, de réduire en poudre les grappiers de chaux et de les séparer des grappiers à ciments beaucoup plus cuits et moins friables. On mélange les poussières à la chaux au moment de son extinction pour les hydrater convenablement et les empêcher de fuser dans les mortiers ; puis on fait broyer les surcuits dans des moulins spéciaux ; on les blute dans des tamis très fins et on obtient du ciment d'excellente qualité.

*Carrreaux mosaïques.* — La Société possède, à Mussy-sur-Seine, une importante fabrique de carreaux mosaïques en ciment dont les produits sont très estimés.

*Produits exposés en* 1889. — L'exposition de la société comprenait un bloc en béton de chaux des côtes d'Alun, des bétons agglomérés en chaux de Seilley et de Saint-Bernard à Ville-sur-la-Ferté, ainsi que des échantillons de toutes les chaux. On fendait des briquettes qu'on brisait à des jours déterminés. La Société a obtenu une médaille d'or.

## § XIV. — SOCIÉTÉ ANONYME DES CIMENTS ET CHAUX HYDRAULIQUES DE BEFFES

La Société des ciments et chaux hydrauliques de Beffes exposait dans le groupe VI, classe 63, sur les berges de la Seine, côté du Trocadéro. Elle a obtenu une médaille d'or. Ses produits ont été employés pour les travaux de la tour Eiffel, des gares Saint-Lazare et d'Orléans, de l'Ecole militaire, etc., etc.

### I. — *Ciments*

Les ciments de la Société sont à prise lente, de qualité Portland. La prise croît avec le temps. Les travaux exécutés sont indestructibles. Ce produit est de couleur grise. Le poids du mètre cube est de 1300 kilogrammes environ.

### II. — *Chaux hydraulique*

Voici la composition du calcaire qui sert à fabriquer cette chaux, d'après l'analyse faite au laboratoire des Ponts et Chaussées :

| | |
|---|---|
| Argile insoluble dans les acides | 18,70 |
| Alumine et peroxyde de fer | 1,35 |
| Magnésie | 0,60 |
| Chaux | 40,05 |
| Eau et acide carbonique | 39,20 |
| Perte | 0,10 |
| Total | 100,00 |

Cette composition est celle des calcaires donnant la meilleure chaux hydraulique.

### *Emplois*

Le ciment de Beffes sert à faire des hourdis, des dallages, des cuves, etc. Le sable doit avoir des grains d'une grosseur comprise entre un millimètre et quarante-quatre millimètres. On compte 420 kilogrammes de ciment pour un mètre cube de mortier sans vides. Il faut employer très peu d'eau avec ce ciment.

## § XV. — CHAUX ÉMINEMMENT HYDRAULIQUE DE XEUILLEY

*Exposition des usines de Xeuilley* (Meurthe-et-Moselle)

### I

MM. Fisson et C^ie^ exposaient dans le groupe 6, classe 63, annexe A (berges du Trocadéro), des produits parmi lesquels on remarquait un modèle de construction en briques fabriquées avec des laitiers de hauts-fourneaux et de chaux hydraulique de Xeuilley.

Ces briques ont pour dimensions 5/11/22 ; elles pèsent environ 2 kilos 500. Voici comment on les prépare :

1° On coule liquides, dans un courant d'eau froide, les laitiers qui sont ainsi *étonnés* et pulvérisés ;

2° On mélange cette pouzzolane avec la chaux dans la proportion de trois volumes de sable de laitier et de un volume de chaux hydraulique de Xeuilley ;

3° On humecte le mélange et on le passe au broyeur, puis à la machine à mouler. Les briques sont comprimées sous une pression de 150 à 200 kilogrammes par centimètre carré. Au sortir de la machine, elles sont mises en haies, où elles restent à durcir pendant deux mois. Ces briques sont régulières de formes, leurs angles sont très vifs et la maçonnerie peut être faite avec des joints de quelques millimètres. Elles peuvent se tailler et se polir comme la pierre de taille.

Les clous tiennent très bien dans cette brique. Elles résistent dans l'eau comme les mortiers hydrauliques et ne sont attaquables ni par l'air ni par la gelée.

Elles résistent à une température de 1000° et elles supportent à l'écrasement un effort de 60 kilogrammes par centimètre carré. On peut les employer en toute sécurité pour les cheminées d'appartements et pour toute espèce de constructions.

### II

Dans le modèle de construction exposé se trouvaient six panneaux, trois grands et trois petits, et dans ces six panneaux, figuraient les différentes applications

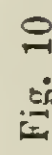

PLAN GENERAL DE L'USINE
PLAN PARCELLAIRE DE L'EXPLOITATION
LEGENDE
Coupe transversale suivant la ligne 7-8
Façade principale
Coupe longitudinale suivant la ligne 1 à 6
ANALYSE DES CALCAIRES
Production journalière et DONNÉES DIVERSES

Fig. 10

des mortiers des usines, soit comme crépi ordinaire, enduit brut, enduit lissé ou enduit moucheté de différentes grosseurs. La composition du mortier était de 300 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable.

Les corniches étaient fabriquées exclusivement en chaux de Xeuilley avec des mortiers composés dans les mêmes conditions.

III

On remarquait aussi un plan colossal des usines, plan que nous reproduisons ci-dessus (fig. 10).

Sur le sol, avait été appliqué un bitumage fabriqué avec des graviers de différentes grosseurs. Les différents genres de béton étaient séparés par des cadres en mortier ordinaire composé avec 250 kilogrammes de chaux par mètre cube de sable et lissé à la truelle. Sur ce bétonnage était placé un bloc de lias, au-dessous duquel se trouvaient une série de mortiers provenant des divers travaux dans lesquels la chaux de Xeuilley a été employée.

Une certaine quantité de ces mortiers avait été employée dans divers travaux hydrauliques du département de Meurthe-et-Moselle, et ils avaient acquis une grande résistance. Une autre partie de ces mortiers provenait du fort de Pont-Saint-Vincent et datait de 1879 ou 1880. Une dernière partie avait une origine plus récente, quelques blocs adhéraient encore à la pierre.

Cette pierre est celle dont MM. Frisson et C$^{ie}$ se servent pour la fabrication de leur chaux.

IV

On voyait aussi sur une table une certaine quantité de briquettes fabriquées, soit avec des chaux pures, soit avec différentes additions de sable. Ces briquettes avaient été immergées en moyenne au bout de vingt-quatre heures de fabrication, d'autres avaient fait leur prise complète à l'air.

Il y avait là aussi quelques menus échantillons de mortiers dont la dureté et l'adhérence étaient tout à fait curieuses; ces mortiers étaient tous des mortiers de chaux.

On avait complété l'exposition par une machine destinée à répéter les expériences à l'arrachement. Le jour de la visite du jury, une briquette composée de chaux pure fut essayée et donna une résistance de 6$^k$,800 par centimètre carré; cette briquette avait quatre-vingt-huit jours de fabrication. Une deuxième briquette fut cassée quelque temps après avec une machine Michaëlis, et donna 25 kilogrammes de résistance par centimètre carré; elle était composée de une partie de chaux pour trois de sable; elle avait été fabriquée en décembre 1888 et immergée dans l'eau de mer au bout de seize heures.

On voyait enfin un échantillon des toiles métalliques employées au blutage chaux. La toile était du n° 60. Il y avait aussi quelques sacs de chaux.

## FABRICATION DE LA CHAUX

### I

Malgré la richesse des bancs exploités, MM. Fisson et C^ie ne fabriquent pas de ciments. Tous leurs efforts tendent à obtenir une chaux absolument supérieure.

*Fondation des usines.* — Avant 1870, les gisements de lias de Xeuilley n'étaient exploités que d'une manière insignifiante. La vente de la chaux en pierres ne dépassait pas les limites du département de Meurthe-et-Moselle. On n'employait et ne connaissait que le calcine de Metz (lias à gryphées arquées), qui donnait une chaux éminemment hydraulique.

Après 1870 l'administration des Ponts et Chaussées, pour ses grands travaux du canal de l'Est, songea au calcaire de Xeuilley qui, par son assimilation complète à celui de Metz, lui parut devoir donner toute sécurité. Xeuilley est à vingt-un kilomètres de Nancy.

En promettant l'emploi exclusif de cette chaux, elle favorisa la construction de fours à chaux à Xeuilley et les usines progressèrent rapidement.

Après l'administration des Ponts et Chaussées, le génie militaire, la Compagnie des chemins de fer de l'Est apportèrent un appui précieux aux usines de Xeuilley.

On augmenta et améliora les moyens de production, de chargement et de transport. Les usines furent raccordées par un embranchement avec le chemin de fer de Nancy à Vézélise. On construisit de nouveaux fours, des appareils de broyage et de blutage perfectionnés.

Une société nouvelle augmenta l'essor de la fabrication. On installa une nouvelle usine et la production atteignit un chiffre important.

Aujourd'hui, la production journalière est de 5000 sacs de 50 kilogrammes livrés au fur et à mesure de leur fabrication. Dans le courant de 1889, les expéditions ont atteint en moyenne par mois un tonnage 5 678 000 kilogrammes répartis sur près de 650 wagons. Plus de 40 tonnes de combustible sont utilisées pour la cuisson de la chaux. 250 ouvriers et ouvrières sont occupés à l'exploitation des carrières, journellement à la cuisson à la fabrication, à l'entretien du matériel, etc., etc.; on s'occupe, en ce moment, de faire une cité ouvrière dans les dépendances de la Société.

### II

*Fabrication.* — Les usines sont bâties à flanc de coteau et reliées par une voie ferrée au canal de l'Est à la distance de cinq kilomètres. Elles possèdent vingt

fours d'un modèle tout spécial et produisant journellement 250 mètres cubes de chaux. La pierre est amenée par une voie qui part d'une carrière distante de 200 mètres environ et arrive de plein pied sur les gueulards des fours.

Le charbon est choisi avec soin, de manière à éviter les cendres autant que possible.

La chaux, après sa cuisson, subit un premier triage qui a pour but de rejeter les incuits ; elle est ensuite aspergée par couches régulières de quinze à vingt centimètres, puis entassée dans huit vastes chambres d'extinction contenant chacune 1 200 mètres cubes.

La chaux ayant séjourné dix à douze jours au moins dans ces chambres d'extinction, on procède alors au blutage.

La chaux, après avoir passé par un tamis de 2000 trous au décimètre carré, rejette un résidu qui est la meilleure partie de la chaux hydraulique, les grappiers.

Les grappiers sont soumis à un broyage qui permet, à l'aide d'un système successif de meules verticales et horizontales et de broyeurs spéciaux, de les réduire en une poudre impalpable qui est ensuite mélangée avec la farine de chaux première et contribue largement à lui donner une bonne qualité.

Deux puissantes machines à vapeur font mouvoir les bluteries, meules-broyeurs, plan incliné, etc.

Des ateliers de réparations, forges, ajustage, charonnerie, permettent d'effectuer sur place les réparations de l'outillage.

Les usines de Xeuilley couvrent en totalité une superficie de quatre hectares, indépendamment des carrières.

Ces dernières sont ouvertes sur un front de trois cent-cinquante mètres et exploitées verticalement sur douze mètres de profondeur. Les bancs sont très réguliers.

*Analyse chimique des calcaires et des chaux hydauliques de Xeuilley.*

1° *Calcaire.* — Le calcaire extrait du coteau de Xeuilley (terrain jurassique) est le lias bleu à gryphées arquées. Soumis à l'analyse à différentes reprises, il a toujours été trouvé d'une composition constante .

En mars 1873, l'administration des Ponts et Chaussées a fait analyser les vingt-quatre premiers bancs de la carrière par les laboratoires industriels de l'Est. On a eu les résultats suivants :

| | |
|---|---|
| Résidu insoluble dans les acides. . . . . . . . | 13,24 |
| Alumine et peroxyde de fer. . . . . . . . . . | 1,66 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . . . . . . . . | 0,45 |
| Carbonate de chaux . . . . . . . . . . . . . | 84,65 |
| Total. . . . | 100,00 |

Les écarts entre les bancs sont insignifiants.

Les dix-huit bancs exploités depuis et soumis à une analyse supplémentaire ont donné :

| | |
|---|---|
| Résidu insoluble dans les acides | 13,03 |
| Alumine et peroxyde de fer | 1,95 |
| Magnésie | 1,33 |
| Chaux | 45,50 |
| Perte au feu | 38,19 |
| Total | 100,00 |

En 1884, l'Ecole des Ponts et Chaussées a analysé quarante-et-un échantillons des bancs de pierre constituant la hauteur totale des carrières de Xeuilley. Voici les résultats :

| | |
|---|---|
| Résidu insoluble dans les acides | 13,75 |
| Alumine et peroxyde de fer | 1,67 |
| Magnésie | 0,65 |
| Chaux | 44,50 |
| Perte au feu | 39,43 |
| Total | 100,00 |

2° *Grappiers.* — Voici l'analyse des grappiers qu'on réincorpore dans la chaux :

| | |
|---|---|
| Eau et produits non doses | 9,40 |
| Chaux | 47,20 |
| Silice | 30,20 |
| Alumine et peroxyde de fer | 11,25 |
| Magnésie | 1,95 |
| Total | 100,00 |

3° *Chaux.* — Les chaux produites par la cuisson de ces calcaires ont été analysées fréquemment, soit en pierres, soit blutées.

Voici quelques-unes de ces analyses :

(*a*) Analyse faite aux laboratoires de la station agronomique de l'Est :

| | |
|---|---|
| Humidité | 1,08 |
| Perte au feu | 14,46 |
| Silice | 14,64 |
| Peroxyde de fer et alumine | 8,90 |
| Magnésie | 1,72 |
| Chaux | 59,20 |
| Total | 100,00 |

(*b*) Analyse faite aux laboratoires industriels de l'Est :

| | |
|---|---|
| Humidité | 0.30 |
| Perte au feu | 16,00 |
| Silice | 15,00 |
| Peroxyde de fer et alumine | 7,50 |
| Magnésie | 1,20 |
| Chaux | 60,00 |
| Total | 100,00 |

(*c*) Une troisième analyse faite aux laboratoires industriels a donné les résultats suivants :

| | |
|---|---|
| Humidité | 1,90 |
| Perte au feu | 15,00 |
| Silice combinée | 14,90 |
| Peroxyde de fer | 1,15 |
| Alumine | 5,75 |
| Magnésie | 1,10 |
| Chaux | 59,20 |
| Total | 100,00 |

## DOSAGE

### EMPLOI A L'EAU DOUCE ET A L'EAU DE MER

Les chaux hydrauliques de Xeuilley pèsent environ 720 kilogrammes le mètre cube. Il faut une tonne de chaux en poudre pour produire un mètre cube de pâte.

Les dosages à employer sont les suivants : Pour les mortiers à l'air, 250 kilogrammes par mètre cube de sable. Lorsque le sable laissera à désirer, il sera nécessaire de porter le dosage à 300 kilogrammes.

Dans les mortiers employés sous l'eau, immédiatement après broyage, il faut tenir compte du délayage qui se produit au moment de l'immersion ; ce délayage

entraînant une assez grande quantité de chaux, il est nécessaire de porter le dosage de 300 à 350 kilogrammes par mètre cube de sable.

Pour les bétons, il faut que le gros gravier destiné à leur confection soit exempt, le plus possible, de matières terreuses; la proportion, par rapport au gravier, est de 0,33 de mortier pour 0.66 de gravier.

Pour les bétons coulés sous l'eau, cette proportion devra être modifiée, il faut 2/5 de mortier pour 3/5 de gravier.

## PRISE DES MORTIERS, RÉSISTANCE A L'ARRACHEMENT ET A L'ÉCRASEMENT

### I

La chaux hydraulique de Xeuilley est d'une couleur brune qui tient à la composition même du calcaire (lias bleu foncé); la prise des mortiers a lieu généralement au bout de trente-six heures; il vaut mieux faire le mélange à sec; la quantité d'eau ne doit pas dépasser 400 litres par mètre cube de sable; le mélange doit être broyé énergiquement.

Pour les enduits, il ne faut employer le mortier que cinq ou six heures au moins après sa confection, on évitera ainsi les fendillements.

### II

Les nombreuses expériences faites au sujet des résistances à l'arrachement et à l'écrasement, ont donné les résultats suivants :

1° Résistance à l'arrachement par centimètre carré :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Après 45 jours . . . . | 2k,300 | 2k,400 | 2k,800 |
| — 90 — . . . . | 5 ,400 | 5 ,900 | 5 ,900 |
| — 180 — . . . . | 6 ,500 | 6 ,900 | 7 ,000 |
| — 360 — . . . . | 8 ,000 | 8 ,400 | 8 5 00 |

2° Résistance à l'écrasement par centimètre carré :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Après 45 jours . . . . | 14k,100 | 13k,900 | 13k,959 |
| — 90 — . . . . | 24 ,200 | 25 .000 | 24 ,900 |
| — 180 — . . . . | 41 ,500 | 40 ,000 | 37 ,500 |
| — 360 — . . . . | 42 ,800 | 42 ,000 | 40 ,200 |

Les briquettes qui ont servi à ces expériences ont été faites avec la proportion

de 300 kilogrammes de chaux pour un mètre cube de sable de Moselle et ont été immergées vingt-quatre heures après leur fabrication.

*Qualités distinctives des chaux hydrauliques de Xeuilley.*

Les usines de Xeuilley se signalent par la constance et l'uniformité de leur fabrication. MM. Fisson et C^ie ne livrent qu'une sorte de chaux et ne fabriquent que des chaux hydrauliques, et les concrétions silico-calcaires connues sous le nom de grappiers, loin d'être retirées pour servir à la fabrication des ciments, sont mélangées mécaniquement à la chaux ; elles concourent à renforcer ses qualités de prise et à lui donner une grande régularité de fabrication.

MM. Fisson et C^ie ont obtenu, à l'Exposition universelle de 1889, une médaille.

## § XVI. — SOCIÉTÉ DES CHAUX HYDRAULIQUES DE L'OUEST

### A SENONCHES (EURE-ET-LOIR), ET A LAIGLE (ORNE).

La Société des Chaux hydrauliques de l'Ouest exposait, sur la berge du Trocadéro, quelques échantillons de ses produits en chaux hydrauliques, briques et ciments. Elle a obtenu une médaille d'argent.

La Société exploite les fourneaux réunis de Senonches (Eure-et-Loir), et de Laigle (Orne).

1° *Usine de Senonches.*

La carrière de Senonches est située près d'une forêt, à 600 mètres au nord des fours à chaux. Elle comprend deux puits d'extraction. Chacun de ces puits à $30^m,60$ de profondeur. Ils desservent quatre galeries principales. Deux de ces dernières s'étendent au nord des puits, deux au sud. Le niveau de ces galeries est toujours gardé constant, au-dessous d'un banc sensiblement horizontal, appelé table de sûreté, et servant de ciel de carrière. Ce banc est un peu plus dur que les autres. On y remarque une grande quantité de moules d'inocérames. La hauteur des galeries est de $2^m,50$. Ce chiffre varie peu. Cette hauteur comprend trois bancs dont l'épaisseur varie de $0^m,50$ à 1 mètre. Ces trois bancs paraissent conserver dans toute l'étendue des galeries une nature assez constante et homogène. Le banc numéro 1 contient çà et là quelques petits rognons de silex disséminés dans la masse (voir la planche de l'atlas). Le calcaire de Senonches est une craie marneuse de l'étage turonien.

Nous donnons ci-dessous une analyse des échantillons de calcaires pris dans la carrière. Ces chiffres sont des moyennes.

| GALERIES d'où étaient extraits les échantillons analysés | SABLE | ARGILE | ALUMINE | PEROXYDE DE FER | CHAUX | MAGNÉSIE | PERTE AU FEU |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Galerie de droite (nord) de 11 mètres de longueur. . . | 1,04 | 14,30 | 0,69 | 0,66 | 44,46 | 0,45 | 38,34 |
| Galerie de gauche (nord) de 39 mètres de longueur. . . | 1,36 | 12,90 | 0,23 | 1,16 | 45,54 | 0,45 | 38,36 |
| Galerie de gauche (nord) de 18 mètres de longueur. . . | 1,16 | 14,53 | 0,58 | 0,93 | 43,12 | 0,46 | 39,22 |
| Galerie de gauche (sud) de 23 mètres de longueur. . . | 1,85 | 16,02 | 0,62 | 0,77 | 40,23 | 0,48 | 40,03 |
| Galerie de gauche (sud) de 23 mètres de longueur. . . | 3,69 | 13,78 | 0,62 | 0,34 | 41,63 | 0,38 | 39,56 |
| L'analyse est faite pour 100 parties de calcaire. | | | | | | | |

A l'usine de Senonches, on ne fait pas usage du broyeur pour l'utilisation des grappiers. Ces derniers sont rejetés de la fabrication et envoyés à la culture. On ne se sert que de la poudre obtenue par l'extinction.

Nous donnons ci-dessous une analyse de quelques échantillons de chaux de Senonches.

| Matières premières | Proportion en o/o |
|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . | 19,50 |
| Alumine. . . . . . . . . . . | 2,05 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . | 1,30 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . | 63,25 |
| Magnésie . . . . . . . . . . | 0,65 |
| Perte au feu . . . . . . . . | 13,25 |
| Total. . . . | 100,00 |
| Indice d'hydraulicité. . . . . . | 0,34 |

## 2° *Usine de Laigle.*

Le calcaire est une craie marneuse contenant des moules d'inocérames en certaine quantité. Il s'étend en masses compactes sous un sol de 120 hectares. On l'exploite à l'aide de machines à vapeur, munies d'ascenseurs placés à l'orifice

des puits d'extraction. La profondeur de ces derniers est d'environ 30 à 33 mètres. Ces puits permettent de descendre dans des galeries souterraines horizontales qui sont pratiquées dans les bancs exploitables (voir la planche de l'atlas).

Comme dans l'usine de Senonches, les grappiers ne servent qu'à la culture.

Nous donnons ci-dessous une analyse de quelques échantillons de chaux de Laigle.

| Matières premières entrant dans la poudre. | Proportion pour cent. |
|---|---|
| Silice | 21,60 |
| Alumine | 1,60 |
| Peroxyde de fer | 1,30 |
| Chaux | 61,10 |
| Magnésie | 1,70 |
| Perte au feu | 12,70 |
| Total | 100,00 |
| Indice d'hydraulicité | 0,38 |

## § XVII. — CIMENTS DE LAITIERS.

### USINE HENRI, GONOD ET GIRARDOT.

La maison Henri, Gonod et Girardot fabrique du ciment de laitiers de hauts-fourneaux. Elle exposait sur les berges de la Seine, côté du Trocadéro, des échantillons divers : carreaux mosaïques, monolithes en ciment, tuyaux, etc. On remarquait aussi une statue (la baigneuse de Catyram, placée dans une sorte de châssis avec quatre colonnettes), un buste d'Ampère et deux vases. La maison a remporté une médaille d'argent.

A la fin de l'année 1876, M. Henri établissait à Ancerville, près de Saint-Dizier, la première fabrique de ciment de laitiers. Il utilisait les résidus des hauts-fourneaux de Marnaval. Ce nouveau produit s'étant bien répandu dans les différentes industries qui emploient le ciment, M. Henri s'associa à MM. Gonod et Girardot, et transporta son usine à Donjeux, à proximité de la gare et du canal, sur un vaste terrain.

Le ciment de laitier s'obtient par le mélange de laitiers de hauts-fourneaux finement pulvérisés, et de chaux éteinte en poudre. On refroidit brusquement le laitier par un courant d'eau au moment où il sort en fusion du haut-fourneau. Il semble se produire un commencement de dissociation des éléments qui exalte les propriétés hydrauliques. On reproche à ce mélange de donner un produit qui se fendille et prend du retrait au contact de l'air. M. Henri remédie à cet inconvénient par des additions de silice et d'alumine, obtenues par précipitations chimiques.

On donne quelquefois au ciment de laitier le nom de *ciment pouzzolane*, à cause de la similitude d'origine, car les pouzzolanes sont des matières volcaniques qui doivent leurs propriétés hydrauliques à un refroidissement brusque.

Les éléments constitutifs du ciment de laitier ont une composition chimique constante et régulière. En effet, dans un haut-fourneau en marche normale, la proportion en silice, alumine et chaux ne subit que de faibles variations, à peine 2 %. Pour les deux autres matières, les écarts de composition ne peuvent être que plus faibles encore. Il n'y a pas lieu de craindre des changements dans la nature du produit. Le ciment pouzzolane peut être consommé presque aussitôt après la fabrication, et dès que le feu de la mouture est passé.

*Analyse faite au laboratoire spécial de l'Ecole des Ponts et Chaussées.*

| DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS | CIMENT NORMAL | CIMENT RAPIDE | CIMENT DE MORTIER |
|---|---|---|---|
| Silice. . . . . . . . . . . . . | 22.70 | 25.35 | 26.50 |
| Alumine. . . . . . . . . . . . | 13.65 | 13.80 | 14.75 |
| Peroxyde de fer. . . . . . . . | 0.80 | 1.35 | 1.35 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . | 50.20 | 47.65 | 49.80 |
| Magnésie. . . . . . . . . . . | 3.40 | 3.20 | 2.70 |
| Acide sulfurique . . . . . . . | 0.35 | 0.85 | 0.30 |
| Perte au feu. . . . . . . . . . | 8.90 | 7.80 | 4.60 |
| Totaux. . . | 100 » | 100 » | 100 » |
| Ces ciments laissaient au tamisage les résidus suivants : | | | |
| Sur le tamis de 324 mailles. . . . . | 0.00 | 0.00 | 0.30 |
| — 900 — . . . . | 1.50 | 0.50 | 2.80 |
| — 5.000 — . . . . | 12 » | 6.50 | 12.90 |
| Totaux des résidus. . . | 13.50 | 7.00 | 16.00 |
| Laissant en fine poussière. . . . . | 86.50 | 93.00 | 84.00 |
| Densités de ces ciments tels quels sans tassement. . . . . . . . . . | 0.933 | 0.877 | 1.000 |
| Début de prise au bout de. . . . . | $4^h\ 40^m$ | $0^h\ 18^m$ | $2^h$ |
| Prise complète au bout de. . . . . | $5^h\ 30^m$ | $0^h\ 25^m$ | $6^h\ 45^m$ |

Nous donnons des tableaux résumant les analyses faites au laboratoire des Ponts et Chaussées sur des échantillons sortant de l'usine de Donjeux.

| DÉTAIL ET DOSAGES | | BRIQUETTES CONSERVÉES A | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CIMENT NORMAL | | | CIMENT RAPIDE | | |
| | | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 7 jours | 28 jours | 84 jour |
| Ciment pur. . . | Arrachement. . . . . | 27.62 | 37.07 | 42.00 | 19.23 | 23.47 | 29 9 |
| | Compression. . . . . | 268.70 | 351.00 | 441.00 | 226.70 | 339.80 | 430.3 |
| Mortier à 1.300 kil. | Arrachement. . . . . | 26.67 | 34.17 | 40.77 | 25 10 | 34.13 | 36.9 |
| | Compression. . . . . | 324.70 | 351.30 | 432.70 | 258.00 | 284.70 | 387.7 |
| Mortier à 650 kil. . | Arrachement. . . . . | 20.50 | 27.57 | 31.87 | 28.43 | 33.40 | 40.9 |
| | Compression. . . . . | 304.30 | 362.70 | 392.70 | 308.70 | 347.30 | 452.3 |
| Mortier à 450 kil. . | Arrachement. . . . . | 15.50 | 19.50 | 24.97 | 23.00 | 30.27 | 34.8 |
| | Compression. . . . . | 229.30 | 241.00 | 274.00 | 240.00 | 318.70 | 401.0 |
| Mortiers à 1 : 3. . | Arrachement. . . . . | 13.47 | 19.70 | 26 40 | 21.77 | 28.73 | 33.7 |
| | Compression. . . . . | 205.30 | 233.30 | 304.30 | 190.00 | 281.30 | 334.0 |
| Mortier à 400 kil. . | Arrachement. . . . . | 11.87 | 16.57 | 22.40 | 19.63 | 27.53 | 31.8 |
| | Compression. . . . . | 179.00 | 204.00 | 235.30 | 216.70 | 244.70 | 307.3 |
| Mortier à 350 kil. . | Arrachement. . . . . | 8.70 | 13.50 | 16.00 | 16.77 | 20.30 | 28.2 |
| | Compression. . . . . | 108.00 | 170.30 | 168.30 | 168.30 | 216.70 | 224.3 |
| Mortier à 300 kil. . | Arrachement. . . . . | 6.97 | 11.37 | 14.70 | 12.27 | 17.23 | 28.8 |
| | Compression. . . . . | 98.00 | 122.30 | 144.00 | 120.70 | 167.00 | 221.3 |
| Mortier à 250 kil. . | Arrachement. . . . . | 5.97 | 8.77 | 11.40 | 8.23 | 12.77 | 18.0 |
| | Compression. . . . . | 73.00 | 80.70 | 102.00 | 75.70 | 104.70 | 152.6 |

N. B. — Les tableaux ci-dessus comprennent seulement les moyennes des résultats maxima à chaque période.

*nº 3666 bis.*

| L'EAU | | | BRIQUETTES CONSERVÉES A L'EAU | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CIMENT DE MORTIER | | | CIMENT NORMAL | | | CIMENT RAPIDE | | | CIMENT DE MORTIER | | |
| 7 jours | 28 jours | 84 jours | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 7 jours | 28 jours | 84 jours | 7 jours | 28 jours | 84 jours |
| 25.70 | 28.50 | 36.80 | 33.00 | 37.37 | 39.67 | 14.07 | 22.30 | 16.70 | 28.17 | 21.83 | 38.10 |
| 211.00 | 290.70 | 302.70 | 244.70 | 329.70 | 417.70 | 213.00 | 292.00 | 427.00 | 208.60 | 248.30 | 315.70 |
| 22.07 | 33.80 | 41.10 | 26.40 | 29.73 | 40.87 | 28.00 | 28.90 | 36.90 | 26.83 | 25.30 | 39.70 |
| 223.30 | 297.30 | 324.00 | 342.70 | 398.00 | 433.00 | 278.00 | 314.70 | 384.00 | 247.00 | 330.00 | 347.30 |
| 18.80 | 28.33 | 33.20 | 25.00 | 26.73 | 35.82 | 30.03 | 33.83 | 41.93 | 17.40 | 26.63 | 32.93 |
| 79.30 | 308.70 | 325.30 | 311.00 | 336.00 | 395.00 | 299.70 | 376.00 | 451 00 | 263.30 | 281.70 | 321.70 |
| 12.30 | 22.83 | 25.80 | 17.23 | 20.53 | 26.13 | 23.30 | 27.70 | 36.03 | 12.93 | 21.63 | 29.70 |
| 61.30 | 213.70 | 252.00 | 264.90 | 278.30 | 308.00 | 243.00 | 326.70 | 354.70 | 171.70 | 223.30 | 260.30 |
| 11.20 | 18.13 | 36.93 | 15.30 | 21.10 | 27.33 | 20.27 | 25.95 | 33.83 | 12.27 | 18.40 | 27.87 |
| 51.70 | 185.00 | 250.70 | 215.70 | 270.30 | 291.70 | 222.00 | 281.70 | 340.70 | 153.30 | 185.30 | 267.70 |
| 10.90 | 15.90 | 21.13 | 13.93 | 19.43 | 82.93 | 14.33 | 24.43 | 32 30 | 10.07 | 18.87 | 24.70 |
| 33.70 | 156.30 | 192.30 | 189.30 | 221.30 | 269.30 | 211.30 | 231.70 | 304.30 | 146.30 | 174.30 | 233.00 |
| 7.37 | 14.07 | 19.37 | 9.67 | 15.67 | 18.60 | 16.07 | 20.27 | 27.40 | 8.63 | 17.07 | 20 37 |
| 32.30 | 118.30 | 163.70 | 147.00 | 194.00 | 196.70 | 176.70 | 212.00 | 270.30 | 105.00 | 159.30 | 189.30 |
| 5.93 | 10.60 | 16.10 | 8.33 | 12.57 | 15.67 | 13.27 | 16.07 | 22.00 | 6.83 | 13.13 | 13.83 |
| 71.00 | 92.70 | 124.30 | 97.30 | 137.30 | 153.00 | 124.30 | 168.70 | 207.30 | 82.30 | 123.00 | 132.00 |
| 4.47 | 8.10 | 12.27 | 6.40 | 9.20 | 11.33 | 10.17 | 12.63 | 12.63 | 4.95 | 8.73 | 11.33 |
| 2.30 | 65.70 | 89.30 | 70.00 | 96.70 | 117.70 | 94.30 | 136.00 | 136.00 | 60 30 | 76.30 | 107.70 |

## PORT DE BOULOGNE

*Essais des ciments Henry.*

| OBSERVATIONS | | DÉTAIL | Résistance à l'arrachement après une immersion dans la mer, de : 7 jours | 28 jours | 84 jours |
|---|---|---|---|---|---|
| Densité du ciment non tamisé. . | 994 | Résistance par centimètre carré | | | |
| Densité du ciment passé au tamis de 5.000 mailles par centimètre carré. . . . . . . . . . . . | 770 | 1re SÉRIE Ciment pur : Moyennes générales | 35. » | 46.7 | 49.7 |
| Résidu du tamisage au tamis de 5.000 mailles par centimètre carré. . . . . . . . . . . . | 18 °/o | 2e SÉRIE Mortier : 1 kilog. de ciment, 3 k. de sable normal, | | | |
| Prise du mortier de ciment pur à l'aiguille de 300 grammes : | | | | | |
| Commencement de la prise. . . | $1^h,40$ | | | | |
| Fin de la prise. . . . . . . . . | $7^h,40$ | Moyennes générales | 13.2 | 19.8 | 23. » |
| Satisfait aux conditions imposées par le cahier des charges du service maritime en ce qui concerne les résistances. | | | | | |

Nous donnons aussi les tableaux résumant les essais à la traction et à la compression faits au même laboratoire sur les ciments Henri. Les expériences ont été faites avec du ciment pur et avec du mortier normal, c'est-dire comprenant *une partie* de *ciment* et *trois parties* de *sable normal* en poids. On a fait d'autre part des essais au laboratoire du chantier de construction du port de Boulogne, et il a été prouvé que ce ciment satisfait pleinement aux conditions imposées par le cahier des charges des ports de Boulogne et de Calais. Les résistances à l'arrachement du ciment pur ont dépassé de 10 à 15 % celles exigées par ledit cahier des charges, suivant l'âge des briquettes, et après quatre-vingt-quatre jours la rupture n'a eu lieu que sous une charge de 46 kilogrammes par centimètre carré.

Pour les mortiers, les résultats sont encore plus satisfaisants, et les résistances obtenues ont été supérieures à celles exigées, depuis 22 % jusqu'à 30 %. Après

quatre-vingt-quatre jours, l'arrachement ne s'est produit que sous un effort de 23 kilogrammes par centimètre carré.

La couleur du ciment de laitier est à peu près celle de la pierre de taille. La légèreté est plus grande que celle du Portland. Le poids du mètre cube est de 1100 kilogrammes environ. La finesse de mouture est telle que le refus du tamis de 5000 mailles par centimètre carré n'est que de 15 % environ. Son rendement en mortier pâte ferme est d'environ 73 %; il exige moins d'eau que le Portland (10 % environ). Aussitôt après le gâchage, le ciment pur peut être mis sous l'eau. Il durcit même dans l'eau bouillante. Dans les conditions normales, il fait sa prise régulièrement et progressivement, différant en cela des autres ciments qui, d'ordinaire, dès qu'ils ont commencé leur prise, l'achèvent très rapidement. La durée de la prise varie d'ailleurs avec la température de l'eau et celle de l'air, ainsi qu'avec l'âge du ciment.

On peut faire varier la prise, dans des limites assez étendues, par des additions bien appropriées. Elle est d'autant plus ralentie que la proportion de sable est plus grande. Sous l'eau, le ciment pouzzolane est absolument invariable de volume; quand on l'emploie à l'air, il faut avoir soin de lui fournir l'humidité nécessaire pour obtenir le maximum de résistance.

Les mortiers ne sont pas aussi maigres que ceux des Portlands; bien travaillés, ils offrent une certaine plasticité qui en facilite l'emploi.

## § XVIII. — CIMENT PORTLAND DE LAITIER DE SAULNES

### GUSTAVE RATY ET Cie, A SAULNES (HAUTE-MARNE).

La fabrique de ciment de laitiers de MM. Gustave Raty et Cie était, pour son exposition, installée dans le Pavillon annexe A (matériaux de construction) et sur la berge de la rive droite de la Seine longeant le quai de Billy, côté du Trocadéro, en aval du pont d'Iéna.

Toutes les parties de cette exposition : maçonnerie, béton, enduits divers, pierres et autres objets moulés, en pâte naturelle ou polychrome, etc., étaient exclusivement fabriqués avec des mortiers de sable et de ciment de Saulnes.

C'est en effet à Saulnes que se trouve la grande fabrique de MM. Raty et Cie. Cette usine peut livrer chaque jour à la consommation 60000 kilogrammes d'un produit parfaitement régulier.

Elle a remplacé une première usine, construite en 1863, pour utiliser les laitiers de trois grands hauts-fourneaux dont MM. Raty et Cie sont propriétaires. Mais la fabrication était alors assez primitive, et ne donnait pas des résultats bien satisfaisants. On a depuis adopté et perfectionné le procédé Vosse et Wolters. De là l'origine du ciment Raty.

*Composition chimique.*

D'après l'analyse faite au laboratoire des Ponts et Chaussées, la composition moyenne du ciment de laitiers de Saulnes est la suivante :

| | |
|---|---|
| Silice . . . . . . . . . . . | 22.45 |
| Alumine . . . . . . . . . . | 13.95 |
| Peroxyde de fer . . . . . . . | 3.30 |
| Chaux. . . . . . . . . . . | 51.10 |
| Magnésie . . . . . . . . . | 1.35 |
| Acide sulfurique. . . . . . . | 0 35 |
| Perte au feu . . . . . . . . . | 7.50 |
| Total. . . | 100.00 |

De l'examen de cette composition chimique, on peut conclure que le ciment de laitiers contient moins de chaux, et contient plus d'alumine et de silice que le ciment de Portland.

En tamisant le ciment analysé plus haut, on a obtenu les résidus suivants :

| | |
|---|---|
| Sur le tamis de 324 mailles . . . | 1.7 |
| Sur le tamis de 900 — . . . | 12.4 |
| Sur le tamis de 5.000 mailles. . . | 13.0 |
| Total des résidus . . | 27.1 |
| Donnant en fine poussière . . . | 72.9 |
| Total. . . | 100.00 |

Mesuré sans tassement, le ciment tel quel avait une densité de 0,905.

La poudre fine, ayant passé par le tamis de 5000 mailles, avait une densité de 0 752.

*Régularité de la qualité.* — Le produit est très régulier. D'après les analyses faites tous les jours à l'usine, les variations extrêmes des divers éléments constitutifs des laitiers (chaux, sable et alumine) ne s'écartent guère de 1 %, les autres éléments restant invariables. La qualité uniformément constante des minerais, et l'allure régulière des hauts-fourneaux de Saulnes, expliquent cette constance dans la qualité des laitiers. Il s'ensuit que le ciment Raty doit avoir une composition régulière.

L'analyse donnée ci-dessus prouve que le ciment de laitier a une densité plus faible que le Portland; il pèse environ 300 kilogrammes de moins par mètre cube. Cette faible densité, à l'encontre de ce qui se passe pour le Portland, est une garantie de qualité et de bonne fabrication.

De là, économie sur le prix de revient. Si l'on évalue à 70 francs le prix de la tonne de chaque ciment ordinaire, rendu à pied-d'œuvre dans Paris, 1 mètre

cube de ciment de laitiers, pesant 300 kilogrammes de moins, coûtera 21 francs de moins qu'un mètre cube de Portland.

*Qualité.* — On peut étendre au ciment de laitier toutes les propriétés du ciment Portland. De plus, il n'y a pas avec lui à craindre de boursoufflements, les éléments dont il est composé (laitier granulé et chaux éteinte) n'étant pas susceptibles de se dilater. On ne rencontre pas non plus de parcelles de cendres dans ce ciment qui est entièrement fabriqué à froid.

*Propriétés.* — Le ciment de laitiers est éminemment hydraulique, et peut sans le moindre danger, être immergé aussitôt après le gâchage.

Pas de dilatation dans l'eau, quelle que soit la température.

Lorsqu'on l'emploie à l'air, et par très grandes quantités, il est bon d'entretenir l'humidité de la surface pendant quelque temps.

### *Prise.*

Le ciment de laitiers de Saulnes peut être classé parmi les ciments à prise lente.

La prise commence ordinairement trois heures après le gâchage. La durée de la prise est de quatre à six *heures*, suivant le mode d'emploi, l'âge du ciment, la température et la quantité d'eau employée au gâchage qu'il faut faire à bonne consistance.

Pour gâcher l'échantillon de ciment examiné à l'École des Ponts et Chaussées et dont nous avons donné plus haut la composition, il a fallu employer 26 % d'eau. Cette eau était à 15° comme le ciment. La prise a commencé au bout de deux heures vingt minutes pour finir au bout de dix heures.

### *Résistance.*

Avec l'échantillon indiqué ci-dessus, il a été fait, au même laboratoire, une série d'expériences sur la résistance. On a modelé à cet effet des briquettes de 5 centimètres carrés de section transversale. Ces briquettes étaient de deux natures : les unes composées avec du ciment pur, les autres formées ainsi qu'il suit : une partie en poids de ciment et trois parties en sable normal provenant du broyage des quartzites de Cherbourg.

Au bout de vingt-quatre heures, il a été procédé au démoulage de ces briquettes, et à leur immersion dans l'eau. Après un séjour de sept à vingt-huit jours dans cette eau, on a retiré ces briquettes, sur lesquelles on a fait des essais à la traction et à la compression. Le tableau ci-après indique les résultats obtenus.

De son examen, on peut conclure que le ciment de Saulnes a une résistance supérieure à celle exigée par le cahier des charges des ports de Boulogne et de Calais.

L'expérience prouve que le ciment Raty a une grande force adhésive.

Le second tableau donne le résultat des essais faits par le chemin de fer de l'État belge, et de ceux faits sur un deuxième échantillon par le laboratoire des Ponts et Chaussées. Ces derniers ont été seulement terminés en février 1890.

*Résistance par centimètre carré.*

| | A LA TRACTION | | A LA COMPRESSION | |
|---|---|---|---|---|
| | Après 7 jours | Après 28 jours | Après 7 jours | Après 28 jours |
| | 1° Briquettes de ciment pur. | | | |
| Nos 1. . . . . . . . | 34.0k | 32.5k | 297k | 377k |
| 2. . . . . . . . | 35.1 | 40.3 | 296 | 388 |
| 3. . . . . . . . | 31.0 | 36.7 | 275 | 367 |
| 4. . . . . . . . | 31.1 | 36.0 | 265 | 347 |
| 5. . . . . . . . | 26.3 | 39.2 | 275 | 357 |
| 6. . . . . . . . | 31.4 | 33.4 | 275 | 347 |
| Moyenne générale. . . | 31.48 | 37.35 | 280.3 | 363.8 |
| Moyenne des 3 maxima. . | 33.50 | 38.74 | 289.0 | 377.3 |
| | 2° Briquettes de mortier à raison de 1 de ciment pour 3 de sable normal de Cherbourg. | | | |
| Nos 1. . . . . . . . | 14.5k | 21.6k | 163k | 208k |
| 2. . . . . . . . | 13.3 | 25 0 | 174 | 240 |
| 3. . . . . . . . | 17.1 | 25.4 | 174 | 217 |
| 4. . . . . . . . | 15.8 | 24.2 | 179 | 242 |
| 5. . . . . . . . | 14.6 | 22.1 | 168 | 238 |
| 6. . . . . . . . | 15.4 | 20.5 | 199 | 242 |
| Moyenne générale . . . | 15.12 | 23.13 | 176.2 | 231.2 |
| Moyenne des 3 maxima. . | 16.10 | 24.87 | 184.0 | 241.3 |

MINISTÈRE des CHEMINS de FER
POSTES ET TÉLÉGRAPHES
DE L'ÉTAT BELGE

SERVICE DES ESSAIS

# PROCÈS-VERBAL

de l'essai à la traction d'un échantillon de ciment effectué à la demande de MM. RATY & C^ie^ à Saulnes, près Longwy.

*Résistance par centimètre carré*

| | Briquettes formées de 100 parties de ciment et de 33 parties d'eau. (Briquettes de 5 centimètres carrés de section) | | Briquettes formées de 1 partie de ciment, 3 parties de sable normal (le tout gâché avec 10 °/o d'eau) (Briquettes de 5 centimètres carrés de section). | |
|---|---|---|---|---|
| | Après 1 jour d'exposition à l'air et 6 jours d'immersion dans l'eau. | Après 1 jour d'exposition à l'air et 27 jours d'immersion dans l'eau. | Après 1 jour d'exposition à l'air et 6 jours d'immersion dans l'eau. | Après 1 jour d'exposition à l'air et 27 jours d'immersion dans l'eau. |
| Moyenne générale de 5 briquettes. . . | 31$^k$,2 | 38$^k$,2 | 24$^k$,4 | 26$^k$,4 |

A Malines, le 12 mars 1889,

*Le Chef des essais,*
Signé : E. ROUSSEL.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES

Labaratoire

N° 3828

EXTRAIT DU REGISTRE DES ESSAIS

**Un échantillon de Ciment remis par MM. G. RATY et Cie**

*à SAULNES*

Les essais de résistance faits sur des briquettes de ciment pur et de mortier à divers dosages. conservées, les unes dans l'eau douce, les autres à l'air, ont donné les résultats suivants (1) :

*Résistance par centimètre carré à l'arrachement*

| MOYENNE des MAXIMA | CIMENT PUR | | MORTIER à 1.300 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 650 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 450 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à une partie de ciment pour 3 parties de sable | | MORTIER à 400 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 350 kilos de ciment pour 1 m cube de sable | | MORTIER à 300 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 260 kilos de ciment pour 1 m cube de sable | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air |
| | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. |
| Après 7 jours . . . | 29.07 | 30.53 | 30.63 | 30.73 | 25.03 | 26.90 | 23.03 | 19.63 | 15.33 | 16.00 | 15.67 | 16.67 | 14.83 | 17.30 | 9.27 | 13.50 | 8.37 | 9.83 |
| Après 28 jours. . . | 34.30 | 37.10 | 36.87 | 37.07 | 37.47 | 32.87 | 31.33 | 25.00 | 27.03 | 21.40 | 24.67 | 22.47 | 23.43 | 22.46 | 18.67 | 16.60 | 14.83 | 12.10 |
| Après 84 jours. . . | 35.67 | 22.17 | 11.40 | 36.40 | 43.57 | 36.10 | 34.20 | 30.03 | 29.63 | 24.77 | 30.27 | 27.17 | 27.00 | 26.97 | 23.00 | 18.50 | 15.17 | 12.50 |
| Après 6 mois. . . . | 36.27 | 32.73 | 13.97 | 41.37 | 42.03 | 37.23 | 35.03 | 29.43 | 32.50 | 27.97 | 31.00 | 26.60 | 26.63 | 25.70 | 21.97 | 17.50 | 18.80 | 13.03 |
| Après 1 an . . . . | 37.13 | 37.53 | 17.30 | 48.33 | 46.93 | 49.07 | 37.07 | 39.17 | 35.77 | 34.27 | 34.57 | 33.60 | 30.73 | 33.07 | 23.03 | 18.63 | 21.00 | 13.67 |

*Résistance par centimètre carré à la compression*

| MOYENNE des MAXIMA | CIMENT PUR | | MORTIER à 1.300 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 630 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 450 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à une partie de ciment pour 3 parties de sable | | MORTIER à 400 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 350 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 300 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | | MORTIER à 250 kilos de ciment pour 1 m. cube de sable | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air | à l'eau | à l'air |
| | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. | kil. |
| Après 7 jours . . . | 220.3 | 215.0 | 317.7 | 312.0 | 310.3 | 337.3 | 251.3 | 275.7 | 184.7 | 261.3 | 174.7 | 209.0 | 160.3 | 184.6 | 116.3 | 140.3 | 74.0 | 88.3 |
| Après 28 jours. . . | 305.3 | 322.3 | 362.3 | 397.7 | 406.0 | 398.0 | 300.3 | 302.7 | 275.7 | 242.3 | 257.3 | 248.7 | 196.3 | 219.7 | 145.0 | 156.7 | 108.7 | 108.0 |
| Après 84 jours. . . | 315.7 | 381.3 | 438.7 | 428.3 | 418.7 | 431.7 | 369.0 | 328.3 | 266.7 | 290.7 | 277.3 | 281.0 | 228.7 | 247.0 | 170.6 | 168.3 | 117.6 | 123.7 |
| Après 6 mois . . . | 384.0 | 402.3 | 112.3 | 418.3 | 432.0 | 434.7 | 342.0 | 320.3 | 277.3 | 278.0 | 275.7 | 264.3 | 245.3 | 277.7 | 189.7 | 181.0 | 138.0 | 124.3 |
| Après 1 an . . . . | 123.0 | 442.0 | 535 3 | 532.0 | 542.0 | 562.0 | 415.3 | 407.7 | 314.3 | 353.0 | 294.3 | 311.1 | 267.0 | 308.0 | 191.9 | 196.0 | 151.7 | 138.0 |

Paris, le 3 février 1890.
*L'Ingénieur des Ponts et Chaussées,*
Directeur-adjoint du Laboratoire,
Signé : DEBRAY.

*Vu et vérifié par l'Ingénieur en chef,*
Directeur du Laboratoire,
Signé : DURAND-CLAYE.

*Vu par l'Inspecteur de l'École,*
Signé : E. COLLIGNON.

(1) NOTA. — Tous les chiffres qui figurent dans ces tableaux représentent en kilogrammes les moyennes des trois maxima, obtenues aux essais faits sur six briquettes de chaque série.

*Applications.*

L'extrême ténuité du ciment Raty lui permet de remplir, mieux que n'importe quel autre ciment, les vides du sable ; la compacité est grande et le colmatage rapide.

On peut employer ce ciment aussitôt après sa fabrication. On peut ajouter plus de sable qu'avec les autres ciments sans nuire à la résistance.

Pour les enduits, il convient d'employer deux volumes de sable pour un de ciment, mélangés à sec quelque temps avant le gâchage. Il est à noter que le ciment de Saulnes supporte la peinture sans l'altérer. Pendant les premiers jours, l'enduit en ciment Raty a une teinte verdâtre qui disparaît peu après, et qui est un indice de bonne fabrication. L'enduit prend ensuite une belle teinte blanche tout à fait remarquable.

Ce ciment est recommandable pour tous les travaux étanches. Dans ce cas, le mortier devra être composé ainsi qu'il suit : une partie de ciment pour une partie de sable de rivière.

Le ciment de Saulnes trouve également son application dans les travaux de fortifications, fondations sous l'eau, bétons pour pavages, bâtis de machines, phares, cheminées d'usines, etc.

On l'emploie aussi pour les carrelages, pierres teintées, même pour les travaux délicats, comme les statues.

Ce ciment a été employé dans les travaux de la ville de Paris, et des compagnies de chemins de fer.

## § XIX. — MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

Le ministère des travaux publics avait exposé dans le jardin du Trocadéro, au voisinage de l'angle formé par l'allée centrale et le quai. Le bâtiment était simple et élégant, en briques et fer, couvert de tuiles, avec un petit hangar annexe.

De chaque côté de la pièce centrale, deux tourelles carrées, renfermant chacune un escalier, aboutissait à une plate-forme supérieure qui servait d'accès à un phare. La tour du phare avait 33 mètres de hauteur.

A l'intérieur, se trouvait une remarquable collection de modèles et de dessins relatifs aux principaux ouvrages exécutés par les services des Travaux publics, ainsi qu'une série de documents relatifs aux matériaux de construction.

Parmi ces documents, se trouvaient ceux fournis par l'École des Ponts et Chaussées. Parmi les services de cette école, il y a lieu de signaler le Laboratoire expérimental du Trocadéro. Cet établissement offre aux ingénieurs qui en

font la demande des moyens d'étude qu'il serait difficile de se procurer autrement et sans beaucoup de frais.

L'atelier expérimental du Trocadéro comprend trois salles :

1° Deux salles pourvues de tous les appareils destinés aux essais de résistance des matériaux de construction ;

2° Une salle et des caves disposées pour la préparation et la conservation des éprouvettes destinées à l'essai et à l'étude des ciments ;

3° Une salle destinée aux essais de résistance des métaux.

L'établissement du Trocadéro est placé sous la direction de M. l'ingénieur en chef Durand-Claye, assisté de M. l'ingénieur ordinaire Debray, avec le concours de M. le chef de dépôt Klein. M. l'ingénieur en chef Flamant dirige les essais sur les métaux.

Au laboratoire du Trocadéro, on détermine, pour les chaux, ciments et mortiers, les propriétés physiques et mécaniques : la finesse de mouture, le poids au litre non tassé, la proportion d'eau nécessaire pour le gâchage à bonne consistance, le rendement en pâte, le temps de prise, la résistance à la traction et à la compression des briquettes de pâtes pures et de mortiers.

Le laboratoire du Trocadéro a fait un grand nombre d'expériences spéciales pour étudier la variabilité du volume des chaux et ciments à l'air et à l'eau, leur dilatation sous l'influence d'une élévation de température, la résistance des mortiers à l'action des dissolutions de sulfate de magnésie.

Les résultats des expériences déjà faites ont été mis en lumière dans les séances du Congrès des procédés de construction, par M. Durand-Claye, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et par M. Debray, ingénieur ordinaire. Nous ne reviendrons pas sur ces importantes communications. Signalons seulement l'appareil établi par M. Klein, chef du dépôt de l'École des Ponts et Chaussées, appareil destiné à l'étude de la dilatation linéaire des chaux et ciments sous l'influence d'une élévation de température (fig. 2, planche 78).

Une auge en cuivre (A) est supportée par deux montants (B), au-dessus d'une planchette (C), de telle sorte qu'on puisse, au moyen d'une rampe à gaz (D), intercalée entre la planchette (C) et l'auge (A), chauffer cette auge et l'eau qu'on y introduit.

Tout le système peut se placer sur une seconde planchette (E), entre deux potences (F), complètement isolée de l'auge, qui, l'une et l'autre, portent un levier coudé [(K) ou (MNP)].

La baguette ($0^m,80$ de longueur) de chaux ou de ciment, soumise à l'expérience, est placée dans l'auge (A) au-dessus de trois petits rouleaux (GGG); son extrémité de gauche (I) vient buter contre le levier coudé (K), qu'on arrête dans une position invariable au moyen d'un système de vis (L) ; l'extrémité de droite (J) agit librement sur le bras vertical du levier coudé (MNP), le contact

(JM) étant d'ailleurs assuré au moyen d'un petit contrepoids placé à l'extrémité de la branche (NP).

Les deux longueurs NM et NP étant égales, si la baguette IJ de chaux ou de ciment, soumise à l'expérience, s'allonge pour une cause ou pour une autre, le déplacement horizontal de l'extrémité J de la baguette produit une élévation égale du point P.

Le déplacement vertical du point P est assuré au moyen d'une vis micrométrique Q qui peut accuser des millièmes de millimètres.

Voici comment on opère :

On place la baguette de ciment dans l'eau à + 6°. On élève successivement la température de l'eau jusqu'à 100°. On constate la longueur de l'accroissement. On retire, par un siphon, l'eau chaude, et on ajoute à plusieurs reprises de l'eau froide qu'on a soin de siphonner dès que sa température dépasse + 6°. On s'arrête quand la baguette a repris sa première position. On répète plusieurs fois cette expérience, et on constate chaque fois l'augmentation et la diminution de longueur.

Pour les expériences de filtration de sulfate de magnésie, expériences relatives à l'action de l'eau de mer sur les mortiers de ciments, le laboratoire se sert de petits cubes de ciment ou de chaux hydraulique : ces petits cubes ont $0^m,07$ de côté. Ils sont pénétrés, jusqu'à une certaine profondeur, par des cylindres de verre dans lesquels on verse la liqueur magnésienne. Cette liqueur reste dans le cylindre un temps déterminé. Si le ciment est attaqué, les cubes se fendillent. Au lieu de les laisser à l'air, on peut les plonger aussi dans la liqueur filtrante.

On a depuis substitué aux cubes, des cylindres avec des tubes de verre plus étroits et plus hauts. Ce mode d'expérience paraît plus actif que l'expérimentation sous forme de cubes. Ce fait paraît s'expliquer par la différence de compacité des mortiers.

Dans les principales villes de France et dans les ports de mer, se trouvent également des laboratoires relevant de l'administration des Ponts et Chaussées. Toutes les expériences qui y sont faites sont, avec celles du laboratoire du Trocadéro, l'objet de rapports périodiques soumis à une commission spéciale instituée au Ministère des Travaux publics. Ces rapports fournissent de précieux renseignements aux industriels et aux ingénieurs. L'un des derniers rapports révélait un fait important.

On sait que le ciment romain ou ciment prompt gagne en vitesse de prise ce qu'il perd en résistance finale, c'est-dire qu'il devient avec le temps moins résistant que le Portland. Les dernières expériences du laboratoire du Trocadéro, essais très prolongés (un an et deux ans), ont montré que la résistance à traction et à la compression progressait continuellement pour les ciments à prise rapide, mais qu'il n'en était pas de même des ciments *Portland artificiels*, dont la résistance atteignait son maximum après six mois pour diminuer ensuite.

Parfois, elle reprenait au bout de deux ans. La chaux hydraulique et le ciment de grappiers, le ciment de laitiers se comportent comme le ciment de Vassy, c'est-à-dire offrent une résistance en progression continue.

Il faut également noter ce fait que les briquettes en chaux ou ciment pur résistent moins que celles en mortier de chaux ou de ciment. La résistance des mortiers de chaux hydraulique augmente avec la proportion de sable jusqu'à un certain maximum pour décroître ensuite ; la résistance des mortiers de ciment diminue quand la proportion de sable augmente.

Les baguettes de ciment plongées dans une dissolution de sulfate de magnésie prennent un allongement progressif avec le temps de l'immersion. L'allongement dans l'eau douce est également progressif, mais inférieur à ce qu'il est dans la dissolution magnésienne.

Des essais à l'infiltration de l'eau magnésienne à travers des cubes ou des cylindres de ciment ou de chaux, il résulte que les portlands artificiels et les ciments de laitiers, se sont décomposés plus vite et plus facilement que les autres

Le dernier rapport adressé à la commission des chaux et ciments contenait une note relative aux ciments espagnols de Zumaya près de Saint-Sébastien. D'après des expériences faites sur des échantillons de ce produit, ce ciment n'a pas une composition chimique uniforme ; la fabrication en devrait être améliorée; sa prise est très rapide ; néanmoins il rend et peut rendre de grands services pour les travaux à effectuer.

Parmi les autres documents du ministère se trouvait une carte de la production des carrières de la France en 1887. La production totale à cette époque s'est élevée à 35 millions de tonnes, soit à 17 millions et demi de mètres cubes environ, et la valeur correspondante des produits sur place était estimée à 164 millions de francs, savoir :

| DÉSIGNATION DES SUBSTANCES | VOLUME en mètres cubes | VALEURS |
|---|---|---|
| Pierre à bâtir. . . . . . . . . . | 4.470.500 | 57.916.000 |
| Pierre à chaux . . . . . . . . . | 2.695.500 | 13.336.000 |
| Marne. . . . . . . . . . . . . | 630.500 | 2.408.000 |
| Argile. . . . . . . . . . . . . | 1.015.000 | 4.461.000 |
| Sable. . . . . . . . . . . . . | 1.322.500 | 3.954.000 |
| Pierre à plâtre . . . . . . . . . | 1.167.500 | 7.562.000 |
| Phosphate de chaux. . . . . . . | 181.500 | 13.448.000 |
| Granits, roches feldspathiques. . . . | 505.000 | 10.368.000 |
| Ardoise . . . . . . . . . . . . | 151.500 | 13.503.000 |
| Pierre meulière. . . . . . . . . | 406.000 | 1.489.000 |
| Grès, silex, roches quartzifères. . . | 664.500 | 13.481.000 |
| Matériaux d'empierrement, ballast et remblais. . . . . . . . . . . | 4.048.000 | 13.848.000 |
| Substances diverses. . . . . . . . | 289.500 | 8.434.000 |
| Totaux. . . | 17.547.500 | 164.208.000 |

La production des carrières de *pierres à bâtir* en 1887 se classait ainsi par département :

| | |
|---|---|
| Gironde. . . . . . . . . . . . | 618.000 mètres cubes |
| Seine-et-Marne . . . . . . . . | 235.000 — |
| Oise. . . . . . . . . . . . . | 165.000 — |
| Seine . . . . . . . . . . . . | 155.000 — |
| Meuse . . . . . . . . . . . . | 153.000 — |
| Mayenne . . . . . . . . . . . | 150.000 — |
| Isère, Meurthe-et-Moselle, Corse, Haute Savoie, Haute Marne, Charente | 150.000 à 100.000 m. cubes. |
| 21 autres départements. Plus de . . | 50.000 — |

La production des carrières de *pierres à chaux et à ciment* pouvait être classée de la façon suivante :

| | |
|---|---|
| Ardèche . . . . . . . . . . . | 268.000 mètres cubes |
| Pas-de-Calais . . . . . . . . . | 251.000 — |
| Isère . . . . . . . . . . . . | 147.000 — |
| Maine et Loire . . . . . . . . | 110.000 — |
| Bouches du Rhône . . . . . . . | 109.000 — |
| Yonne . . . . . . . . . . . . | 102.000 — |
| Mayenne . . . . . . . . . . . | 100.000 — |
| Meurthe et Moselle, et Nord (chacun) | 95.000 — |

Pour les *argiles*, on avait relevé d'après les estimations :

| | | |
|---|---|---|
| Bouches-du-Rhône . . . . . . | 122.000 | mètres cubes. |
| Seine-et-Marne . . . . . . | 90.000 | — |
| Nord . . . . . . . . . . . | 85.000 | — |
| Charente . . . . . . . . . | 70.000 | — |
| Saône-et-Loire . . . . . . . | 70.000 | — |
| Seine . . . . . . . . . . . | 50.000 | — |

Pour les *sables et graviers* :

| | | |
|---|---|---|
| Nord . . . . . . . . . . . | 400.000 | mètres cubes |
| Seine . . . . . . . . . . . | 278.000 | — |
| Seine-et-Oise . . . . . . . . | 162.000 | — |
| Oise. . . . . . . . . . . . | 94.000 | — |

Pour *le plâtre ;*

| | | |
|---|---|---|
| Seine-et-Oise . . . . . . . . | 558.000 | mètres cubes |
| Seine . . . . . . . . . . . | 209.000 | — |
| Seine-et-Marne . . . . . . . | 96.000 | — |

Pour *les ardoises :*

| | | |
|---|---|---|
| Maine-et-Loire . . . . . . . | 147.000 | mètres cubes |
| Mayenne . . . . . . . . . . | 86.000 | — |
| Ardennes . . . . . . . . . . | 78.400 | — |

Pour la *pierre meulière :*

| | | |
|---|---|---|
| Seine-et-Oise . . . . . . . . | 193.000 | mètres cubes |
| Seine-et-Marne . . . . . . . | 150.000 | — |

Parmi les modèles et dessins concernant les travaux exécutés, on remarquait :
Un modèle du nouveau *pont de Rouen* ;
Des modèles des nouveaux ponts en fer fondu *Morand* et *Lafayette* à Lyon ;
Des plans en relief des ports de Calais et de Boulogne ;
Des modèles de tours, balises en béton.
Différents modèles de ponts et viaducs, de phares, d'écluses, etc.

Dans le nouveau pont de Rouen, toute la pierre et les moellons sont en pierre de Comblanchien (Côte-d'Or) ; la maçonnerie de remplissage des piles est en moellons de Souppes, celle des culées en moellons de Caumont (Eure). La maçonnerie de béton pour les fondations est formée de trois volumes de galets pour deux volumes de mortier de ciment portland à raison de 400 kilogrammes de ciment par mètre cube de sable. Les voûtes sont en briques.

Les pierres employées à la construction des piles et culées des ponts *Morand* et *Lafayette*, proviennent des carrières de Villebois (Ain), de Montalieu (Isère), d'Hauteville (Ain).

Les ports de Calais et de Boulogne sont établis avec le plus grand soin ; les cahiers des charges des travaux de construction sont très minutieux.

Le béton des tours balises est formé de 2 mètres cubes de mortier en ciment portland pour 3 mètres cubes de pierres cassées. Ces pierres ont de $0^{m},02$ à $0^{m},06$ comme dimensions. Le mortier contient 500 kilogrammes de ciment pour 1 mètre cube de sable (1).

---

# IV. — CONSTRUCTIONS EN CIMENT

## § I. — PRÉLIMINAIRES

Le ciment est peu employé à l'état de pâte pure, sauf pour les enduits; ses principales applications se font sous forme de béton. Elles sont nombreuses.

Le ciment sert à faire des dallages, des trottoirs, des ponts et voûtes diverses, des cuves, réservoirs, bassins, mangeoires, bâtis de machines, etc.

Pour ces divers travaux la proportion de ciment à employer pour un volume de sable varie avec la qualité du ciment et la nature des travaux qu'il s'agit d'exécuter. L'emploi du béton rend à l'art des constructions les services les plus importants; il rend facile et économique la fondation de tous les ouvrages hydrauliques et permet d'exécuter des travaux réputés comme impossibles autrefois.

Les proportions de cailloux et de mortier qui entrent dans la composition des bétons, dépendent des vides qui existent entre les pierres. On dit que le béton est *maigre* quand le mortier entre en grande quantité dans sa composition, et qu'il est *gras* quand le mortier est au contraire en faible proportion.

A Paris, dans un mètre cube de cailloux de diverses grosseurs d'environ $0^{m},05$ de longueur, le vide est de $0^{m3},38$. Pour les pierres cassées de grosseur uniforme et ne dépassant pas $0^{m},05$, il est de $0^{m3},46$. Pour avoir un béton *plein*, il est nécessaire que le volume du mortier dépasse celui des vides. Selon que ce volume sera de $0^{m3},38$ ou de $0^{m3},46$, le volume de mortier à employer sera de $0^{m3},48$ ou de $0^{m3},58$.

Le béton se fabrique dans des appareils spéciaux appelés bétonnières, verticales ou horizontales, sortes de cylindre en tôle dans l'intérieur desquels se meuvent des palettes ou des hélices qui triturent la matière.

Le béton s'emploie soit hors de l'eau, soit dans l'eau. Dans le premier cas, il

(1) A Boulogne-sur-Mer depuis 1886, est installé un laboratoire fonctionnant à l'instar de celui des Ponts et Chaussées, à Paris. La Ville de Paris pour ses travaux particuliers, a établi également, depuis 1867, un laboratoire municipal.

se coule entre des encaissements qui limitent la place qu'il doit occuper. Dans le deuxième cas, on le coule soit par trémies, soit par caisses ou bacs.

La résistance d'un béton dépend de sa composition. On peut admettre cependant pour un béton de chaux hydraulique, six mois après sa fabrication, une résistance de 4 k., 10 par centimètre carré, le poids de ce béton étant de 1851 kilogrammes le mètre cube. La résistance sera plus grande avec un béton de ciment.

## § II — CARRELAGES ET PRODUITS MOSAIQUES EN CIMENT ET MARBRES INCRUSTÉS.

(GABRIEL NICOLLET, A GRENOBLE)

Ces produits sont d'une nature exceptionnelle. Il ne faut pas les confondre avec les diverses mosaïques connues, et notamment avec la mosaïque italienne ou mosaïque faite sur place.

Ces carreaux mosaïques, exclusivement composés de fragments de marbres naturels de couleurs variées, fortement liés entre eux par du ciment supérieur sous l'action d'une pression mécanique de 60 kilogrammes par centimètre carré, forment un aggloméré d'une dureté et d'une résistance sans égales. Ils peuvent en outre être polis, grâce à des machines puissantes et à des procédés spéciaux.

Ces procédés de fabrication s'appliquent encore à des dalles de grandes dimensions, souvent employées pour des carrelages plus riches et aussi comme plaques de revêtements.

Ces produits mosaïques sont utilisés par les Compagnies des chemins de fer. La salle des Pas-Perdus de Lyon-Perrache et celle de la gare de Grenoble sont carrelées par ce procédé et ce dallage n'a pas bougé ; il y a pourtant une grande circulation dans ces deux gares. On l'a employé dans les églises et les grandes administrations.

La mise place en de ces carreaux se fait avec la plus grande facilité, sur un béton ordinaire de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, lequel doit toujours être posé à l'avance pour qu'il ait le temps de se bien tasser.

Ce béton doit se trouver à $0^{m},035$ millimètres en contre bas du niveau définitif que doit occuper le carrelage. L'ouvrier poseur fait tremper les carreaux dans l'eau quelques instants avant la pose. Les carreaux sont ensuite appliqués sur un mortier composé de $\frac{1}{2}$ de ciment à prise lente et $\frac{1}{2}$ de sable lavé coulé lui-même sur la couche de béton ; on emploie environ de 13 à 14 kilogrammes de ciment par mètre carré. On établit des repères de niveau et l'on frappe légèrement chaque carreau avec le manche du marteau jusqu'à ce qu'il se trouve au niveau indiqué par une règle. Les carreaux sont posés aussi rapprochés que possible, sans remplir les joints à mesure, mais en tenant le carrelage bien propre.

Quand la surface est couverte ou après chaque journée, si le travail est long,

on la nettoie et on la lave, on délaie ensuite du ciment à prise lente dans de l'eau, de manière à faire une bouillie bien claire que l'on étend sur toute la surface pour remplir les joints.

Après la pose on fait disparaître immédiatement toute trace de ciment ou autres maculatures qui pourraient s'être produites à la surface des carreaux ; on les lave avec de l'eau légèrement savonneuse, et on laisse pendant quelques jours une couche de sable mouillé en contact avec la surface carrelée.

On enlève ensuite la couche de sable, et, lorsque le carrelage est complètement sec, on prépare un encaustique composé de 500 grammes environ de cire blanche que l'on dissout à chaud dans un litre d'essence de térébenthine ; on étend cet encaustique par petites quantités sur le carrelage et on frotte avec un linge.

Lorsqu'on a besoin de couper des carreaux, on se sert d'une petite scie formée d'une feuille de tôle à laquelle on fait quelques entailles et que l'on emmanche sur un morceau de bois. On applique une règle le long de la ligne suivant laquelle on veut couper le carreau et on le frotte avec la petite scie en le tenant mouillé et en y ajoutant un peu de sable siliceux. En quelques instants on produit une rainure de quelques millimètres. On fait de même sur l'autre face du carreau qui alors se sépare, en le frappant légèrement sur une arête vive ou en y promenant un ciseau sur lequel on frappe à petits coups.

*Tables mosaïques.* — Outre les carreaux, la maison Nicollet fait aussi des tables qui sont un aggloméré de ciment et de marbres incrustés. Les différentes teintes de ces tables sont obtenues uniquement par la variété des marbres employés dans leur fabrication, sans aucune adjonction de couleur. On peut varier à l'infini les dessins, le coloris, les nuances, les motifs, les inscriptions, les initiales, représenter des damiers, des armoiries, etc., etc.

Outre les tables, MM. Nicollet fabriquent aussi des pilastres, balustres, appuis de balcons, rampes d'escaliers, etc., vases de fleurs en mosaïques, le tout d'un admirable effet. — La maison Nicollet avait son exposition jointe à celle de MM. Thorrand et C^{ie}.

## § III. — MAISON COIGNIET

La maison Coigniet exposait dans la classe 20 (mosaïques d'art) hors concours, M. Coignet étant membre du jury. Elle exposait aussi dans laclasse 53 (génie civil, architecture) où elle a obtenu une médaille d'or. On pouvait examiner au rez-de-chaussée dans la Galerie des Machines, un modèle de malaxeur et mélangeur pour bétons polychromes, des mosaïques faites avec incrustation de morceaux de marbres dans du ciment, des mosaïques artistiques en émaux et en marbres.

Du reste les produits de cette importante maison étaient utilisés dans de

nombreuses parties de l'Exposition, notamment la grande fontaine, les balustrades du jardin central, les emmarchements, etc., etc.

L'usine est à Asnières près Paris.

On sait en quoi consiste le procédé Coigniet.

La maçonnerie est faite exclusivement avec du sable mélangé à une certaine proportion de chaux additionnée de ciment Portland, quand on n'emploie pas des chaux éminemment hydrauliques comme celle du Theil par exemple. Le dosage varie avec la qualité des matériaux employés et la dureté à obtenir.

On procède par mouillage et triturage dans des appareils spéciaux, en employant le minimum d'eau possible. Le triturage et le malaxage sont facilités par cet état *semi-fluide* des matières. Si l'on mettait une plus grande quantité d'eau on risquerait de noyer la chaux et le ciment, et la résistance deviendrait insuffisante comme dans le béton ou mortier ordinaire; tandis que dans les conditions dans lesquelles on les met avec le système Coigniet, ils donnent tout ce qu'ils peuvent donner. Chaque grain de sable se trouve enveloppé dans une pellicule de matière agglomérée. Lorsque la prise se produit, soit par la cristallisation des différents sels de chaux, soit par la précipitation de l'argile soluble, tous les grains sont énergiquement réunis les uns aux autres pour former une maçonnerie compacte et homogène. Si donc, soit par des chocs répétés de pilons mus à bras d'homme, soit par l'action de presses hydrauliques puissantes, on produit un rapprochement physique des molécules de la pâte solide obtenue, on facilite beaucoup cette liaison intime des grains les uns aux autres. Cette dernière opération a fait donner au béton obtenu le nom d'aggloméré.

La confection d'un béton Coigniet comprend trois phases :

1° Emploi d'eau strictement nécessaire ;

2° Mélange énergique assurant l'égale répartition de la matière agglomérante et le contact intime avec les grains de sable ; pas de cailloux ;

3° Rapprochement de toutes les molécules par des chocs répétés ou par une compression énergique.

*Matériaux employés.* — Le sable le meilleur dans ce cas est celui dont les grains sont d'une grosseur régulière, anguleux et arêtes vives. Par une mise en œuvre spéciale on obtient même avec des chaux, ciments et sables de qualité inférieure, des produits donnant d'excellents résultats.

Pour le *dosage*, s'il s'agit de travaux publics, murs de soutènement, égouts, réservoirs, etc., on forme un produit dont la composition est la suivante :

| | |
|---|---|
| Sable de rivière ou de plaine . . . . . . | 1 mètre cube |
| Chaux du bassin de Paris . . . . . . . | 125 kilogs |
| Ciment à prise lente . . . . . . . . . | 50 — |

ou bien :

| | |
|---|---|
| Sable de rivière ou de plaine . . . . . . . | 1 mètre cube |
| Chaux éminemment hydraulique (Theil, Virieu-le-Grand, etc.). . . . . . . . . . . | 175 kil. |

Avec du sable de Fontainebleau le dosage est de :

| | |
|---|---|
| Sable de Fontainebleau. . . . . . . . . | 1 m. cube |
| Chaux du bassin de Paris. . . . . . . . | 150 kilogs |
| Ciment à prise lente . . . . . . . . . | 60 — |

ou bien :

| | |
|---|---|
| Sable de Fontainebleau ou analogue. . . . | 1 m. cube |
| Chaux éminemment hydraulique (Theil, Virieu-le-Grand, etc.) . . . . . . . . . . | 210 kilogs |

Pour les pierres artificielles, on va, pour 1 mètre cube de sable, jusqu'à 400 kilogrammes de chaux et 400 kilogrammes de ciment.

*Malaxage.* — Le malaxage assure le mélange des matières ; par la friction énergique qu'il opère, il détermine l'adhésion de la matière inerte du sable à la matière agglomérante, chaux et ciment. Pour cette opération, la maison Coigniet s'était servi jusqu'à ces dernières années, du malaxeur vertical pour les travaux de faible importance, et de la bétonnière Franchet pour les autres. Nous ne décrirons pas ces appareils bien connus. M. Coigniet avait exposé dans la Galerie des Machines un appareil breveté réalisant de grands progrès sur ceux dont nous venons de parler, et complété par l'adjonction d'un autre cylindre en vue de la préparation mécanique du béton de cailloux. Chacun de ces appareils peut préparer des matières pour 80 mètres cubes de maçonnerie de béton par jour.

Ces appareils perfectionnés répondent à deux buts différents.

Lorsqu'on produit de la pierre artificielle, il faut en même temps, pour desservir l'atelier, plusieurs mélanges différents. A cet effet, M. Coigniet a fait breveter un appareil (fig. 3, pl. 7-8) consistant en des meules verticales cannelées qui ne sont pas à marche continue, et qui mélangent en les malaxant, par opération, 200 litres de sable avec une quantité correspondante de chaux et de ciment.

Pour les travaux publics, la maison Coigniet a fait construire un appareil basé sur le fractionnement des opérations ;

1° Mélange mécanique, à sec par fractions séparées, du sable avec la chaux et le ciment ;

2° Distribution continue de ces mélanges fractionnés au malaxeur ;

3° Mouillage ;

4° Malaxage.

Ce mélangeur malaxeur s'applique également à la fabrication des mortiers, surtout du mortier de ciment. Dans les malaxeurs verticaux, au début de l'opération, quoique le cylindre vertical soit plein, la matière qui y est contenue sort

sans avoir été malaxée, ce qui donne de mauvais résultats. Dans le nouvel appareil, le malaxage se produit par *ascenseur*, et la pâte est utilisable dès les premiers moments. Il y a économie de main-d'œuvre. La production journalière (12 heures) est de 40 mètres cubes de pâte de béton aggloméré et 60 mètres cubes de mortier. La manœuvre de l'appareil nécessite deux hommes ; il en faut trois pour l'approche des matériaux et le remplissage des wagonnets. Voici le prix de revient du mortier :

| | |
|---|---|
| Main d'œuvre : | |
| 4 hommes à 4 fr., l'un . . . . . . . . . . | 16 fr. »» |
| 1 id. 5 . . . . . . . . . . | 5 fr. »» |
| Total par 50 mètres cubes par jour . . . . . | 21 fr. »» |
| Soit par mètre cube . . . . . . . . . . . | 0 fr. 42 |
| Force motrice : | |
| 1 chauffeur. . . . . . . . . . . . . . . . | 6 fr. »» |
| 200 kilogs de charbon à 25 fr. les 1000 kilogs . . | 5 fr. »» |
| Huile, chiffons, graisse, etc. . . . . . . . . | 3 fr. »» |
| Total pour 50 mètres cubes. . . . . . . . . | 14 fr. »» |
| Soit pour un mètre cube. . . . . . . . . . | 0 fr. 28 |
| Entretien des appareils par mètre cube . . . . | 0 fr. 10 |

Soit pour un mètre cube un total de 0 fr. 80.

*Description de l'appareil.* — L'appareil se compose d'un châssis en fer G à branches mobiles, porté par un essieu à deux roues et sur lequel se trouvent : une plateforme P, avec garde-fou pour le service, un réservoir d'eau R à tuyau et robinet *r*, un mélangeur C (traversé par un arbre qui porte les bras nécessaires) et une boîte de jauge B, fondus ensemble d'une seule pièce pour que rien ne s'oppose au mouvement des matières, le tout reposant par les flasques *mm'* sur le châssis G. A la partie supérieure de la boîte B est accrochée une sorte d'échelle en deux parties soutenant une noria A. Une table à recousses D est suspendue sous le mélangeur au moyen de liens articulés *l'*. Enfin sous le châssis, se trouve un malaxeur F, suspendu aux longerons par l'intermédiaire de l'arbre M.

La poulie N de l'arbre Q est commandé par une locomobile. Cet arbre actionne le malaxeur F par les roues d'angle *nn'*, et le mélangeur B, par les roues à chaîne *pp'*. A son tour, l'arbre du mélangeur commande la table à secousses par les roues *j* et *j'* et la noix par les roues à chaîne *q* et *q'*. Sur l'arbre de la noria est un manchon d'embrayage actionné par le levier $L^2$.

*Fonctionnement de l'appareil.* — La noria A monte et déverse le sable dans la boîte de jauge B ; celle-ci a deux de ses parois inclinées suivant la pente naturelle d'éboulement du sable afin d'assurer son remplissage ; une de ses parois est une portion du cylindre horizontal tournant excentrée autour de

l'axe *a* au moyen du levier L à contrepoids *l*. Cette disposition permet, une fois la boîte pleine, d'opérer la vidange instantanée du sable, alors même qu'il serait mouillé.

Quand le mélangeur C est plein, un ouvrier monte sur la plateforme P pour jeter dans cette boîte les quantités voulues de chaux et de ciment ; les bras montés sur l'arbre rotatif central brassent et mélangent le tout ; quand le mélange est fait, la porte de décharge *b*, formée également d'une portion de cylindre tournant excentrée autour de l'axe *a*' est ouverte au moyen du levier L', et le produit de l'opération se déverse sur la table à recousse D.

Un doigt *d*, porté par l'axe *e*, mû par un cliquet actionné par un rochet *r*, appuie sur la traverse *t* de la table, et fait reculer cette dernière, que des ressorts *x* lancent en avant sur la traverse *u*, lui imprimant de ce fait un choc qui provoque l'écoulement d'une portion du mélange. Une vanne *v* règle cet écoulement en nappe mince pendant que le tuyau perforé *r*, projette l'eau nécessaire du réservoir R.

Les matières mélangées et contenant la quantité d'eau voulue, tombent dans la partie inférieure du malaxeur F. Celui-ci est constitué par deux hélices enroulées autour de deux arbres tournant dans le même sens, et placés dans une couche en fonte ayant la forme d'un ω (fig. 11).

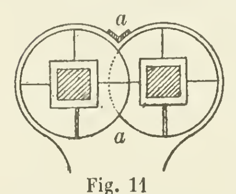


Fig. 11

Les hélices malaxent la matière entre les deux fractions *aa* dont l'une monte et l'autre descend, et le mélange est remonté jusqu'aux orifices X. L'appareil est placé sur deux roues; pour le transport de l'appareil, on enlève les cornières qui réunissent les deux parties de l'échelle de la noria, dont la partie supérieure reste suspendue à la boîte B. On défait la chaîne *pp*' et on laisse aller le malaxeur dont la partie supérieure est plus lourde, et qui devient horizontale. On fixe ensuite les brancards.

Il suffit de deux ouvriers pour faire manœuvrer l'appareil, l'un alimente à la pelle la noria et règle l'écoulement d'eau du robinet R ; l'autre sur la plateforme P, arase la boîte de jauge B, manœuvre les leviers L, L' $L^2$ et verse la chaux et le ciment.

*Agglomération.* — Au sortir du malaxeur la pâte est versée en couches minces dans des moules. Ensuite on frappe à coups répétés sur le mélange avec un pilon de forme voulue.

Les grains de sable se serrent de telle sorte que la maçonnerie acquiert une densité de 2.2 ; la pression est de 90 à 100 kilogrammes par centimètre carré. Pour les carrelages on se sert de presses hydrauliques.

Résistance à l'écrasement de 100 à 500 kilogrammes par centimètre carré, suivant le dosage employé et l'âge de la pierre. Très grande résistance à l'usure. La pierre artificielle remplace très bien la pierre naturelle et n'a pas l'aspect

blafard des enduits de ciment. Elle peut être teintée, et donner de beaux effets de polychromie.

### *Carrelages mosaïques.*

Depuis peu, la maison Coigniet fabrique des mosaïques de marbres et d'émaux. Le marbre concassé est mélangé au ciment pur. On grèse et on polit les objets ainsi fabriqués. Avec des marbres de différentes couleurs on obtient des dessins variés. On comprime les carreaux. On peut faire des panneaux de 3 mètres sur 2 mètres, faire également des guéridons et tables.

On fait aussi des mosaïques artistiques en or et en émaux.

### *Pont à arches surbaissées* (fig. 4, pl. 78).

Avant l'exposition en mars 1889, M. Coigniet présenta au département de la Seine un projet de pont à établir sur la Seine entre Ivry et Charenton. Il avait pour base une construction à arches surbaissées en béton aggloméré.

Voici la composition des mélanges prévus pour la réalisation du projet :

Béton aggloméré n° 0,

| | | |
|---|---|---|
| Béton aggloméré n° 0<br>R = 225 à 275 kg. par c m. | Sable. . . . . . | $1^{m3}$ |
| | Chaux hydraulique. . | 300 kg. |
| | Ciment Portland. . . | 300 kg. |
| Béton aggloméré n° 1<br>R = 150 à 175 kg. | Sable. . . . . . . | $1^{m3}$ |
| | Chaux hydraulique. . | 250 kg. |
| | Ciment Portland . . | 100 kg. |
| Béton aggloméré n° 2 | Sable . . . . . . | $1^{m3}$ |
| | Chaux hydraulique . . | 125 kg. |
| | Ciment Portland . . | 50 kg. |

Le projet prévoit encore l'emploi d'un béton de mâchefer et d'un béton de cailloux préparés d'après les formules suivantes :

| | | |
|---|---|---|
| Béton de Cailloux | Cailloux . . . . . | $0^{m3}$ 800 |
| | Sable . . . . . . | $0^{m3}$ 500 |
| | Ciment . . . . . | 150 kg. |
| Béton de mâchefer<br>R = 800 à 1000 kg. | Mâchefer . . . . . | $1^{m3}$ |
| | Sable . . . . . . . | $0^{m3}$ 500 |
| | Chaux. . . . . . | 150 kg |

Le béton de cailloux devait servir pour le remplissage des chambres d'air

dans la fondation des piles. Le béton de mâchefer devait être réservé aux remplissages entre le dessous de la chaussée et l'extrados des voûtes.

Le projet [1] comportait une grande arche centrale de 58 mètres d'ouverture et deux arches latérales de $53^m,50$. Les voûtes étaient calculées d'après la méthode Tourtay. Chaque pile avait une surface d'appui de $122^m,40$ formée par un caisson de 7 mètres de largeur sur 12 mètres de longueur dans la partie droite et $3^m,50$ de rayon aux deux extrémités en demi-cercle. Les culées ont une grande base d'appui.

Le béton n° 2 était proposé pour l'exécution de ce travail. La pression de 6 kilogrammes par centimètre carré dans les piles, est abaissée dans les culées à 2 kilogrammes.

Dans les arches, la maçonnerie est soumise à une pression de 20 à 21 kilogrammes ; leur construction est prévue en béton n° 0.

Les conduites d'eau étaient placées en dehors du pont en ayant soin de reporter le poids sur l'ensemble des maçonneries et de ne pas faire travailler les pièces scellées dans les parements extérieurs à des efforts d'arrachement considérables. Les conduites étaient supportées par des consoles articulées reposant sur des plaques d'appui ancrées dans la maçonnerie et maintenues au sommet par des tiges de traction horizontales. L'espacement des colonnes était de $2^m,50$. Les deux tiges horizontales de traction étaient attachées au milieu du pont à un ancrage formé de deux fers ⊔ encastrés dans la maçonnerie et reliés entre eux par de forts goussets et des boulons d'entretoise. Une lanterne de serrage placée au-dessous du trottoir permettait de régler la position des consoles sans toucher à l'attache centrale. Le tuyau supérieur était posé sur la console, le tuyau inférieur suspendu au-dessous par une lame courbe à longueur variable. On supposait les tuyaux en tôle de fer et d'acier. Un masque en zinc repoussé et tôle découpée masquait les conduites.

Le devis s'élevait compris 15 % pour les imprévus, à 925 000 francs.

## § IV. — MAISON PAUL DUBOS ET C^ie^

La maison P. Dubos exposait également de nombreux échantillons de ses produits. Les matériaux fabriqués par cette maison sont des bétons agglomérés. Ils sont employés depuis de longues années pour l'exécution de travaux publics en France et à l'étranger. Ces pierres moulées sont ingélives et durcissent avec le temps. Les essais faits au Conservatoire des Arts et Métiers, par M. Michelot ingénieur en chef des ponts et chaussées, ont prouvé que la résistance du béton

1. Voir note de M. Ed. Coigniet sur un projet de pont à arc surbaissé, Baudry et C^e^. — Voir également Comptes Rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils. — 1^er^ semestre de 1891.

aggloméré atteignait et dépassait celle des pierres les plus dures. Elle est d'environ 400 kilogrammes par centimètre carré.

Pour la résistance au frottement opéré à la surface, le béton aggloméré tient la première place. Des expériences à cet égard ont été faites par M. E. Muller, le regretté professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures.

MM. P. Dubos et C^{ie} font aussi des bétons polychromes du plus bel effet.

## § V. — TRAVAUX EN CIMENT AVEC OSSATURE MÉTALLIQUE, SANS ATTACHES ET A RÉSEAU CONTINU
### *(Système breveté de P. Cottancin).*

M. P. Cottancin exposait diverses applications de son système, au premier étage de la Galerie des Machines, classe 63. Murs, Revêtements, Vases étanches.

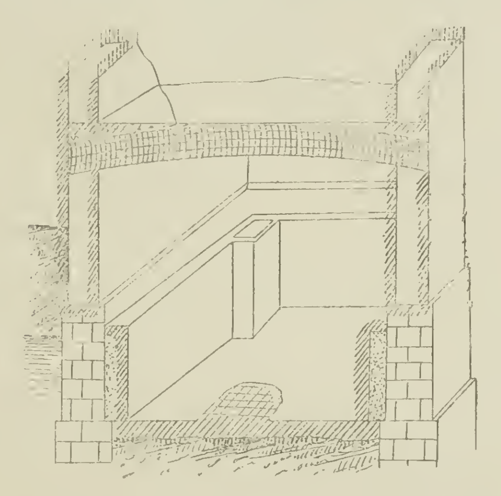


Fig. 12

Le principe de M. Cottancin consiste à recouvrir entièrement d'une couche



Fig. 13 Fig. 14

de ciment, de quelques *centimètres seulement*, un treillis en fer ou en acier sans attaches et à réseau continu ; mis en harmonie avec les forces entrant en jeu dans chaque cas proposé, le treillis donne à l'ensemble la solidité nécessaire pour résister aux charges fixes ou roulantes.

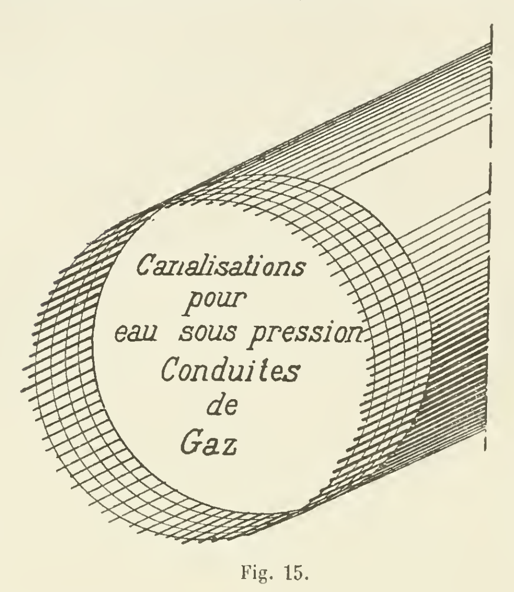



Fig. 15.

Le treillis, construit par un tissage avec chaîne et trame continues, formant boucles à toutes les extrémités des ossatures, fournit un moyen, aussi simple que solide, de faire le raccord des surfaces planes ou fermées, avec une tige métallique de section voulue. Cette jonction, obtenue par la réunion des boucles du réseau, supprime tous les points faibles de la fabrication du treillis avec attaches. La suppression des attaches permet, avant l'application du ciment, le transport des panneaux droits ou courbes pour toutes constructions, aussi bien que des surfaces fermées, pour canalisations de n'importe quel genre, sans craindre la disjonction du treillis.

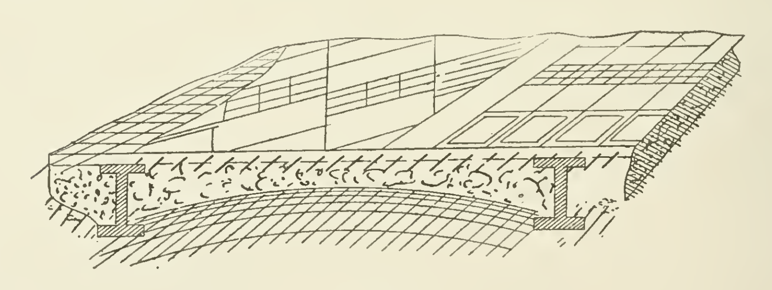


Fig. 16

Avec ce système on peut enduire le treillis par compression, et par conséquent obtenir l'homogénéité du mortier de ciment. La pièce jouit de tous les avantages du ciment et du fer, dont les dilatations pratiques sont identiques. Il se fait une union intime de ces deux corps, et l'expérience prouve que les constructions ainsi obtenues sont incombustibles et indéformables.

Il n'entre dans ces travaux aucun produit chimique sujet à se détériorer par

des variations climatologiques, et le ciment assure, par son étanchéité, une parfaite conservation du métal (fig. 12, 13, 14, 15 et 16).

Si l'on imprime un choc très violent aux constructions ainsi établies, on ne peut détruire toute la masse, l'effet est seulement localisé à quelques-uns des petits solides du treillis, car le ciment se trouve décomposé en petits parallélipipèdes fictifs ayant les dimensions restreintes de la maille qui les supporte, ce qui empêche les fissures si fréquentes dans les constructions ordinaires en ciment.

Une dalle de 1 mètre carré et de $0^m,045$ d'épaisseur, construite avec ce système, peut supporter une charge de 2 763 kilogrammes avec une flèche de 13 millimètres avant la rupture graduelle, tandis que la même dalle, en mortier de ciment sans ossature, ne peut supporter que 517 kilogrammes sans flèche appréciable avant la rupture instantanée.

Les ouvrages fixes et démontables de toutes formes, sont obtenus avec une jonction facile, une grande économie, une énorme solidité, malgré la faible épaisseur, une étanchéité parfaite pour les gaz et tous les liquides. Il ne se produit aucune crevasse, ni avec les dissolutions alcalines, l'eau de Javel, les essences végétales, certains acides, etc., ni même avec l'eau chaude sous pression.

M. Cottancin a surmonté toutes les difficultés qui rendaient peu pratiques les tentatives antérieures d'emprisonnement du métal dans le mortier de ciment. Ces essais sont aussi anciens que l'industrie du laminage, puisque les premiers métallurgistes, pour obtenir de minces cloisons, employaient à la place de lattes en bois recouvertes d'un enduit, des petites barres de fer reliées entre elles par des attaches de treillageur qu'ils noyaient dans du mortier de chaux. L'emploi d'une couche de ciment de quelques centimètres d'épaisseur, suffisante pour recouvrir et protéger entièrement le réseau métallique, n'avait pas été très développé ; les ingénieurs constructeurs, en raison des progrès de la métallurgie avaient jusqu'ici appliqué les travaux en fer, de préférence à une construction mixte dont les défauts de montage du système primitif avec attaches ne donnaient pas une bien grande sécurité.

Le système de M. Cottancin permet de plus de donner aux matériaux un cachet artistique ; le ciment en effet se prête aussi bien à une décoration qui lui est propre qu'à celle fournie par les arts industriels. L'harmonie des formes est ainsi fortifiée par une matière plastique qui masque la raideur de la charpente.

Pour les joints des tuyaux, M. Cottancin a songé à utiliser l'ossature même du tuyau en laissant ses boucles déborder du ciment, pour les réunir avec celles du tuyau contigu, au moyen d'une barre de fer de section appropriée ; il est parvenu, par ce procédé, à assurer la résistance du joint sous l'effort d'une forte pression et avec une étanchéité parfaite. Il se sert seulement de la bague intérieure comme cintre pour faire une collerette en ciment dans le cas d'une canalisation continue.

Au laboratoire de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, on a expérimenté des plaques en ciment avec ossature métallique remises par M. Cottancin.

Le but principal de ces essais était de reconnaître comment se comporterait ce produit au point de vue des dilatations par l'action de la chaleur. Deux des plaques choisies au hasard dans la fourniture, ont été portées à six reprises différentes à des températures de 90 à 100°, puis plongées brusquement dans l'eau froide. Il ne s'est produit aucune fissure ni changement de forme.

On a soumis les plaques à des essais de résistance à la flexion et à la rupture.

Dans la première série des expériences, des plaques de $1^{m},10$ de longueur uniforme, de section et de constitution variables ont été posées sur deux appuis distants de 1 mètre, puis chargées en leur milieu de poids successivement croissants jusqu'à la rupture complète de l'enduit en ciment.

Dans la 2e série, des plaques de $2^{m},10$ de longueur uniforme, mais de section et de constitution variables ont été posées sur deux appuis distants de 2 mètres, puis chargées en leur milieu de poids successivement croissants jusqu'à la rupture complète de l'enduit en ciment. Nous donnons ci-contre un tableau résumant les essais.

M. Cottancin a fait de nombreuses applications de son système (pl. 9, 10, 11 12, 13, 14, 15, 16). Il a construit la voûte de l'usine de Sainte-Marie, qui a $0^{m},03$ d'épaisseur. Le treillis de cette voûte a des épines tous les $1^{m},50$. Ces épines ont $0^{m},20$ de hauteur. La disposition adoptée est celle des épines en dessus.

Dans la voûte de la papeterie de La Haye-Descartes, les épines sont disposées en dessous pour protéger les fers de la charpente contre l'oxydation.

Ces voûtes, très surbaissées, poussent très peu au vide, par une disposition d'épines brevetée S. G. D. G. Le poids propre de ces voûtes a arrêté l'écartement des murs qui commençait à se faire sentir par suite de la disposition adoptée pour les fermes.

Le réservoir circulaire de la Faisanderie, à Joinville-le-Pont, a des épines en dessous pour permettre au fond de résister sur une base aussi mouvante que l'est un tas de sable encaissé seulement dans une forme en gazon.

Les réservoirs de Montretout, de forme rectangulaire, ont démontré la possibilité de faire des réservoirs de toute forme sans tirants, en formant, par les épines, un ensemble analogue à des caissons renfermés dans le vide des poutrelles.

Cette façon de procéder permet de construire des terrasses et des planchers portant jusqu'à 1 500 kilogrammes par mètre superficiel, sans faire intervenir les fers en T ou les poutrelles assemblées, parce que les épines sont constituées par des barres de fer plat emprisonnées dans le treillis aux points utiles de résistance sans nuire au passage des éléments dans tous les sens; on évite de recourir aux jonctions par boulons et rivets toujours défectueuses, même avec des goussets.

| Nº DES ESSAIS | DÉSIGNATION des échantillons donnés | DIMENSIONS DES PLAQUES: Longueurs | Largeurs | Epaisseurs | CONSTITUTION DE L'OSSATURE: Diamètre des fils | Nombre de brins dans la longueur | Nombre de brins dans la largeur | Poids de l'ossature | DATES de fabrication | DATES de l'expérience | LIMITE D'ÉLASTICITÉ: Charge | Flèche | CHARGE de rupture | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Première Série — DISTANCE D'APPUI : 1 MÈTRE** | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Plaque nº 1 | 1m10 | 0.420 | 0.040 | 4m/m4 | 10 | 86 | 9k350 | 13 avril 1890 | 13 mai 1890 | 220k | 0m/m7 | 540k | Cette plaque a été essayée sans dessus-dessous. |
| 2 | | 1.10 | 0.400 | 0.038 | 4 . 4 | 10 | 86 | 9.350 | » | » | 1300 | 9 . 8 | 1780 | |
| 3 | Plaque nº 2 | 1.10 | 0.400 | 0.043 | 4 . 4 | 10 | 26 | 3.500 | » | » | 1220 | 7 . 1 | 1620 | |
| 4 | | 1.10 | 0.400 | 0.040 | 4 . 4 | 10 | 26 | 3.500 | » | 28 mai 1890 | 820 | 5 . 2 | 1420 | |
| 5 | Plaque nº 3 | 1.10 | 0.400 | 0.040 | 4 . 4 | 10 | 10 | 2.000 | » | 13 mai 1890 | 220 | 1 . 3 | 480 | Cette plaque avait à 6 reprises différentes été portée à l'étuve à des températures de 90 à 150 degrés puis refroidie brusquement en plongeant dans l'eau. Il ne se manifesta dans cette expérience aucun changement de température. |
| 6 | | 1.10 | 0.400 | 0.040 | 4 . 4 | 10 | 10 | 2.000 | » | 28 mai 1890 | 180 | 0 . 6 | 580 | |
| 7 | Plaque nº 4 | 1.10 | 0.445 | 0 040 | 4 . 4 | 13 | 11 | 2.250 | 23 avril 1890 | 23 mai 1890 | 180 | 1 . 9 | 520 | La plaque 11 a été traitée comme la plaque numéro 4. |
| 8 | | 1.10 | 0.445 | 0.040 | 4 . 4 | 13 | 11 | 2.250 | » | » | 180 | 3 . 3 | 580 | |
| 9 | Plaque nº 1 | 1.10 | 0.445 | 0.024 | 4 . 4 | 12 | 28 | 4.150 | » | » | 360 | 19 . 0 | 560 | *Croquis des plaques armées* No 13 |
| 10 | | 1.10 | 0.440 | 0.022 | 4 . 4 | 12 | 28 | 4.150 | » | » | 240 | 19 . 0 | 380 | |
| 11 | Plaque nº 2 | 1.10 | 0.420 | 0.023 | 4 . 4 | 13 | 8 | 1.750 | » | 13 mai 1890 | 120 | 17 . 0 | 170 | |
| 12 | | 1.10 | 0.440 | 0.024 | 4 . 4 | 13 | 8 | 1.750 | » | 23 mai 1890 | 120 | 10 . 9 | 220 | No 14 |
| 13 | Plaques armees par des épines | 1.10 | 0.450 | 0.042 | 4 . 4 | 13 | 42 | 6.150 | 15 avril 1890 | 15 mai 1890 | 2600 | 14 . 3 | non comp. | |
| 14 | | 1.10 | 0.450 | 0.042 | 4 . 4 | 13 | 56 | 8.300 | » | » | 3200 | 1 . 0 | » | |
| 15 | | 1.10 | 0.430 | 0.015 | 4 . 4 | 13 | 68 | 10.250 | » | La plaque numéro 15 ne pouvait être utilement expérimentée après les résultats obtenus sur les deux autres | | | | No 15 |
| | **Deuxième Série. — DISTANCE D'APPUI : 2 MÈTRES** | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Plaque nº 1 | 2.10 | 0.435 | 0.043 | 4 . 4 | 22 | 85 | 21k250 | 19 avril 1890 | 19 mai 1890 | 740k | 30 . 5 | 980k | |
| 17 | Plaque nº 2 | 2.10 | 0.425 | 0.040 | 4 . 4 | 23 | 26 | 7.750 | » | » | 320 | 26 . 6 | 460 | *Croquis de la plaque 19* |
| 18 | Plaque nº 3 | 2.10 | 0.400 | 0.040 | 4 . 4 | 24 | 11 | 5.000 | » | » | 120 | 6 . 3 | 240 | |
| 19 | PLAQUE ARMEE par des épines | 2.10 | 0.460 | 0.040 | 4 . 4 | 22 | 68 | 20.000 | 23 avril 1890 | 23 mai 1890 | 3400 | 2 . 3 | non comp. | |

Avec ces épines, sans un emploi exagéré de métal, on peut faire des surfaces planes ou courbes, de grande résistance avec une épaisseur de $0^m,03$, en augmentant, soit la hauteur de l'épine, soit la quantité de métal.

Les terrasses de M. Teyniers, à Vaucresson, en sont un exemple.

### § VI. — TERRASSES EN CIMENT — SYSTÈME CAILLETTE

La maison Caillette exposait, sur la berge de la Seine, rive gauche, des spécimens de couverture en ciment à dilatation libre pour terrasses et remparts; et un nouveau système de planchers en fer pour les grandes portées. Elle a obtenu une médaille de bronze.

Ces terrasses se composent de panneaux s'appliquant sur l'aire en briquettes d'un plancher en fer.

Les panneaux sont indépendants les uns des autres et peuvent subir isolément les effets de la dilatation et de la trépidation parce que ces panneaux ne sont pas intimement liés entre eux et parce qu'ils n'adhèrent pas à l'aire du plancher.

Pour garantir l'infiltration dans les joints, les panneaux sont soudés entre eux par une bande de plomb engagée dans le hourdis lui-même. L'étanchéité est absolue et les effets de la condensation annulés par la disposition du plancher.

Les terrasses sont établies directement sur le dernier plancher ; ce plancher est vide dans toute la hauteur des solives, ce qui empêche les effets de la condensation.

Le poids d'une terrasse ainsi établie est de 280 à 300 kilos par mètre carré celui d'une terrasse en plomb serait de 400 kilos. Donc économie de 40 %.

---

## V. — Céramique de construction.

### § I. — DÉFINITIONS ET NOTIONS GÉNÉRALES

La terre travaillée, mouillée et cuite, a pris depuis longtemps une large place parmi les matériaux de construction. En effet on voit les briques entrer dans la plupart des bâtiments anciens, surtout de ceux que l'on trouve dans les plaines de l'Asie, aux environs du Tigre et de l'Euphrate.

Les produits céramiques comprennent les briques, les tuiles, les carreaux mosaïques, les faïences et porcelaines.

## I
### *Briques.*

Les Grecs ont employé la brique dans la construction de la plupart des édifices. Dans l'ancienne Rome, pendant les premiers siècles, une loi interdisait d'élever les maisons à plus d'un étage ; elle résultait sans doute de l'emploi de la brique, matériaux peu résistant à cette époque.

Les briques sont des pierres artificielles formées d'argile et de sable, pétries, moulées et cuites après séchage.

Le choix de la terre est très important. Les Romains choisissaient de préférence des roches siliceuses. Cette préparation, était, chez eux, affaire d'Etat; les édiles et les censeurs étaient appelés à donner leur avis. En effet une bonne terre à briques ne doit dans tous les cas, être ni trop argileuse, ni trop sablonneuse. On obvie à ces inconvénients soit en ajoutant de la terre grasse, soit en ajoutant du sable à l'argile destinée à faire la brique.

L'argile, suivant la situation des bancs est extraite à ciel ouvert ou à ciel couvert.

Additionnée de sable ou de terre suivant les besoins, l'argile est ensuite malaxée dans un tonneau où tourne un arbre vertical portant des couteaux à lames horizontales et obliques. Le tonneau est muni d'un robinet qui fournit l'eau nécessaire au malaxage. L'expérience a prouvé que, pour obtenir de bonnes briques, la quantité de sable à ajouter à l'argile après un premier malaxage, est environ de 1/5 à 1/4 de cette dernière. L'argile convenable pour la brique doit contenir 45 à 80 % de silice, 15 à 40 % d'alumine, et 18 % d'eau. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies on rapporte artificiellement l'élément qui manque.

Le moulage se fait soit à la main (procédé belge et procédé anglais), soit mécaniquement. Le moulage à la main exige l'emploi d'une table à mouler, d'un baquet à eau, d'un baquet à sable et de deux moules composés chacun de 4 planchettes en bois blanc, maintenues par des bandelettes de fer. Le moulage mécanique tend aujourd'hui à se généraliser de plus en plus. La maison Boulet frères, Lacroix et C^ie^ à Paris, construit les machines à fabriquer les briques en pâte ferme. Une machinerie pour fabrication de briques comprend : de gros cylindres pour diviser les mottes de terre, un malaxeur vertical à terre ferme, et enfin une machine à briques. Cette disposition demande une surface minimum de 4 mètres sur 10 mètres. La terre passe du broyeur dans le malaxeur au moyen d'une courroie sans fin, et va du malaxeur directement à la machine à façonner. Les 3 machines sont ainsi intimement reliées l'une à l'autre.

Les briques sont séchées, et ensuite soumises à un rebattage pour obtenir la consistance voulue. Ce rebattage se fait soit à la main, soit mécaniquement.

On procède ensuite à un deuxième séchage en disposant les briques en haies recouvertes de paillassons.

La cuisson se faisait autrefois en tas ; elle se pratique aujourd'hui dans des fours à feu continu ou intermittent. Les fours à feu continu sont, à tous les points de vue, les plus réguliers, les plus économiques et les meilleurs. Il y a deux espèces de fours employés, l'un de forme carrée, le four Hocquart, l'autre de forme circulaire ou elliptique, le four Hoffmann. Dans le premier, 2 hectolitres de charbon suffisent pour cuire 1 000 grosses briques, soit 2 500 kilos de terre très dure à cuire. Dans le deuxième, la dépense de combustible est de 100 kilos de houille par 1 000 briques. MM. Virollet et Duverne construisent depuis quelque temps des fours à feu continu basés sur l'emploi de la grille à feu fractionné entre chaque rang de produit à cuire. Ce nouveau modèle permet une grande production dans un espace de temps restreint.

Une bonne brique doit être parfaitement moulée, à vives arêtes, sans cavités, boursouflures ni ébréchures. Elle doit rendre un son clair et sonore, avoir le grain fin, serré et homogène dans sa cassure. Elle doit de plus ne renfermer aucun élément décomposable à l'air, et susceptible de la dégrader après sa mise en œuvre. Elle doit pouvoir résister à l'action de la gelée et des intempéries.

On fabrique maintenant des briques de toutes formes, et de dimensions souvent considérables, notamment les briques réfractaires en silice pure, en magnésie pure, destinées à la construction des fours métallurgiques et des formes de verrerie, les dalles cintrées pour voûtes de foyers de locomotives. Pour les planchers, les cloisons, les voûtes légères, on fabrique des briques en forme de voussoirs. Pour les conduites à ménager dans l'épaisseur des murs, les briquetiers livrent de grandes briques présentant un évidement soit circulaire, soit rectangulaire.

Dans les constructions légères on fait usage de briques perforées. MM. Boulet frères, Lacroix et C^ie^ ont construit une machine à piston qui au moyen d'une filière, moule la brique avec sections.

Comme pour les pierres, on soumet les briques à des essais d'écrasement et de traction.

Les briques bien cuites résistent à une pression variable entre 100 et 200 kilos par centimètre carré. Cette résistance peut tomber jusqu'à 39 kilogrammes pour les briques communes.

A la traction les briques peuvent supporter un effort de 18 à 20 kilos par centimètre carré.

On admet qu'il convient de ne pas dépasser dans la pratique une charge d'écrasement supérieure à 12 kilogrammes par centimètre carré pour les briques de choix fabriquées à la machine et posées sur mortier de ciment.

Les briques de qualité exceptionnelle sont fabriquées avec de la terre à tuiles (terre fine), malaxées avec soin et rebattues dans des moules métalliques, telles

sont les briques dites *porphyres de Montchanin* d'un grain extraordinairement fin et serré. Elles ont

$$0^{m},22 \times 0,107 \text{ à } 0,11 \times 0,054 \text{ à } 0,055.$$

Leur poids spécifique varie de 1900 à 2100 kilogrammes ; leur résistance de rupture par mètre carré donne 890 000 à 1 370 000 kilogrammes pour la traction et 2 400 000 jusqu'à 2 900 000 kilogrammes pour l'écrasement. Une série d'expériences ont été faites en 1872 par M. Vigan, ingénieur des Ponts et Chaussées à Nice, sur de petits cubes. Le prix des briques de Montchanin est très élevé ; on les emploie pour les constructions particulières très soignées, et seulement dans les parements.

Les *briques de Bourgogne* forment une autre qualité. Elles sont fabriquées avec d'excellentes argiles d'un gris rose qui donnent après la cuisson un rouge pâle passant au violet foncé pour les plus cuites. Les briques de Bourgogne sont régulières de forme, très dures, et résistent bien aux intempéries. Leurs dimensions sont de

$$0,22 \times 0,10 \text{ à } 0,11 \times 0,054 \text{ à } 0,055.$$

Leur poids spécifique varie de 1800 à 2 000 kilogrammes. La pression d'écrasement est comprise entre 1 000 000 à 1 500 000 kilogrammes. La résistance à la traction est environ 200 000 kilogrammes, et, d'après M. Vigan, peut s'élever, jusqu'à 750 000 kilogrammes.

Les *briques de Montereau* ont le même aspect ; mais leur épaisseur n'est que de 0,05. La densité varie de 1,78 à 1,90. La résistance à l'écrasement est comprise entre 600 000 et 1 100 000 kilogrammes.

Les briques d'usage courant à Paris à cause de leur bas prix sont celles dites *de pays*, fabriquées dans la ville ou la banlieue, et notamment à Ivry, dans l'usine Muller ; on emploie une argile grise ou verdâtre qui au feu devient d'un rouge foncé. Ces briques sont souvent violettes ou noires par suite de la quantité de mâchefer qu'on y ajoute ; il se produit alors des soufflures et des vitrifications. Elles sont grossières, quelquefois fendillées, mais d'ailleurs suffisantes dans les constructions légères. Elles ont comme dimensions

$$0,12 \times 0,107 \text{ à } 0,11 \times 0,065 \text{ à } 0,07.$$

Le poids spécifique est de 1 750 à 2 000 kilogrammes ; la résistance et l'écrasement varie de 280 000 à 600 000 kilogrammes. A la traction, elles donnent 60 000 à 80 000 kilogrammes de résistance.

Les briques dites *façon Bourgogne*, fabrication de Vaugirard, ne diffèrent des *briques de pays* que par les dimensions qui sont celles adoptées en Bourgogne, savoir

$$0,22 \times 0,107 \text{ à } 0,11 \times 0,054 \text{ à } 0,055.$$

Les *briques de Sarcelles* sont d'un rouge vif sans vitrifications, légères et peu résistantes. Elles sont employées par les fumistes. Leurs dimensions sont de 0,21 × 0,095 × 0,05.

Le poids spécifique est de 1750 kilogrammes le mètre cube.

On se sert encore à Paris de briques *de Compiègne*, *Amiens*, *Saint-Quentin*, *Beauvais*, *Vernon*, *etc.* Ces briques sont de très bonne qualité.

On fait dans toutes les usines des *demi-briques* ayant soit 0,11 de longueur, soit 0,03 d'épaisseur, soit 0,22 sur 0,055 et 0,055, et aussi des briques en forme de *claveaux*, dites *coins* et *couteaux*, des briques *sommiers*, des *briques cintrées.*

Les briques sont quelquefois vernissées sur une ou deux de leurs faces, par des émaux généralement plombeux ou stannifères, fondus à une température peu élevée et par cela même résistant médiocrement aux intempéries. Des émaux de grand feu seraient plus durables mais plus chers, et ne pourraient se poser que sur des briques réfractaires.

Des expériences de M. *Garnier*, il résulte que la résistance des briques creuses à l'écrasement est les 2/3 de celle des briques pleines *façon Bourgogne*, les valeurs extrêmes étant 0,45 et 0,86. D'autre part, M. Tresca a fait au Conservatoire des Arts et Métiers des expériences comparatives sur des massifs construits en briques creuses *de Bourgogne* (Villenavotte) et d'Ivry (M. Muller). La supériorité des produits de l'usine d'Ivry ressort du relevé ci-après qui donne également les résultats comparatifs entre les briques pleines et les briques creuses.

| | |
|---|---|
| 1° Résultats d'essais sur les *briques de bourgogne.* — Pression d'écrasement par unité de surface totale . . . . . . . . . | 180000 à 390000 |
| et par unité de surface de la section pleine des cloisons. . . . . . . . . . . | 540000 à 1150000 k. |
| Rapport des résistances . . . . . | $\frac{1}{3} = 0.33$ |
| 2° Résultat d'essai sur les *briques Muller* (Ivry). Pression d'écrasement par unité de surface totale . . . . . . . . . | 360000 à 730000 k. |
| et par unité de surface de la section pleine des cloisons . . . . . . . . . . . . | 1000000 à 2020000 k. |
| Rapport des résistances . . . . . | 0.36 |

## II

### *Tuiles.*

La fabrication de la tuile est analogue à celle de la brique. La terre est plus fine, la manipulation plus soignée. Comme pour les briques, les machines ont remplacé la main de l'homme. Les principales machines employées sont : la ma-

chine à étirer et à comprimer, la presse à vis à friction, la presse à plateau tournant, la machine à 5 pans, et la presse pour faîtières. Toutes ces machines sont fabriquées par MM. Boulet frères, Lacroix et Cie à Paris.

La forme la plus ancienne de la tuile est la *tuile plate* de *Bourgogne*. Dimensions, 0.300 × 0.250 × 0.015, Poids 2 kil. 400. Pureau 0.11 (1). La tuile s'attache par un crochet qu'elle porte en dessous.

En *Italie*, on fait des tuiles analogues mais affectant la forme de trapèzes, et qui ont des rebords latéraux saillants en dessus. Pureau 0.08.

Dans une grande partie de la France, on se sert de *tuiles creuses*. On les pose par rangs parallèles qui présentent alternativement en dehors leur concavité et leur convexité. Elles sont maintenues par des tasseaux. Elles ont $0^m,35$ de longueur, $0^m,015$ d'épaisseur, et s'emboîtent les unes dans les autres d'environ $0^m,10$. Elles exigent une inclinaison de toit inférieure à 27 degrés, parce qu'elles ne sont retenues que par leur seul frottement l'une contre l'autre. Pour éviter les infiltrations, l'inclinaison doit être supérieure à 15°.

Il y a encore les tuiles *flamandes*, les tuiles *romaines*. Depuis plusieurs années on a introduit de nombreux perfectionnements dans la fabrication des tuiles. On a cherché à diminuer la surface perdue par les recouvrements et en même temps le poids par mètre superficiel, à augmenter les facilités d'écoulement des eaux de pluie, à éviter les fuites dues à l'action des vents et de la capillarité. On a rendu solidaires toutes les tuiles et amélioré leur attache au lattis. Enfin on a découvert des procédés d'assemblage très ingénieux.

Parmi les industriels auxquels sont dues les améliorations les plus remarquables, on cite MM. Gilardoni, Muller, Courtois, Dumont.

La bonne tuile a une texture homogène, une belle couleur, donne un son clair, elle est surtout imperméable. Comme cette dernière condition est difficile à obtenir, on y supplée par un vernissage. Le vernissage date de la plus haute antiquité. On retrouve des briques vernissées dans les ruines de Ninive et de Babylone. Ces briques étaient enduites d'une glaçure alcalino-terreuse, composée d'un silicate alcalin d'alumine, sans trace de plomb ni d'étain.

Au Moyen-Age, on procédait par engobes en terre de couleurs appliquées sur le pureau, et on recouvrait le tout d'un vernis plombifère, incolore.

Aujourd'hui on recouvre chaque pièce d'un engobe blanc, sur lequel on applique un vernis d'une couleur quelconque. On peut encore recouvrir chaque pièce d'un engobe coloré préalablement de la couleur voulue, et mettre par-dessus cet engobe un vernis incolore.

L'engobe blanc est une couche d'argile blanche ou réfractaire dont on enduit la pâte aussitôt qu'elle est assez ferme pour être manipulée. Le vernis de couleur est posé, soit sur le produit crû, soit sur le produit cuit. Dans le premier

1. On appelle pureau la partie de la surface de la tuile qui est apparente à l'extérieur.

cas, la pièce, l'engobe, et le vernis cuisent ensemble ; dans le second, l'engobe et la glaçure cuisent à une température moins élevée. Les vernis les plus employés sont à base de plomb.

On a essayé d'autres procédés, mais ils paraissent moins avantageux.

## III

### *Carreaux mosaïques. — Faïences. — Porcelaines.*

Le mot *potence* s'applique à tous les objets fabriqués avec de l'argile, de la terre ou du grès. On obtient ainsi les terres cuites, les poteries communes, la faïence, la porcelaine.

Les poteries vernissées, employées comme revêtement dans la construction sont d'un effet charmant. On obtient ainsi depuis quelques années des résultats très heureux pour la décoration des bâtiments avec ossature métallique.

C'est dans les ruines de Persépolis, en Perse, et dans tout l'Orient que se trouve probablement la naissance de l'art céramique. On y trouve la trace des carreaux décoratifs, les briques couvertes de couches d'émail de diverses couleurs et portant les dessins les plus variés.

La décoration des édifices de Bysance est basée sur l'emploi de la mosaïque et des faïences émaillées. La mosquée de Cordoue et le palais de l'Alhambra à Grenade présentent également des revêtements en plaques de faïence. Au Moyen-Age et pendant la Renaissance, toutes les maisons en Europe étaient recouvertes en tuiles vernissées ou en faïence émaillée. Les faïences d'Oison et les poteries de Bernard de Palissy sont les plus renommées.

L'émail, enduit vitreux, opaque et coloré, est formé de borax et d'oxydes métalliques ramenés à l'état fluide par la cuisson. Le plomb, l'étain, le cuivre, mélangés avec des borates ou des phosphates, sont amenés à l'état de poussières et déposés sur la surface des pièces. L'émail à base de plomb est fusible et translucide. L'étain donne un émail blanc, opaque. Les oxydes de plomb, d'antimoine, d'argent, forment l'émail jaune. Le cobalt donne l'émail bleu, l'oxyde de cuivre, l'émail vert.

L'art de la mosaïque est riche en merveilles, sous des formes multiples, monuments, portraits, paysages, fleurs.

A l'époque de la Renaissance, les Cristofori prétendaient obtenir en cubes de verres de petites dimensions, quinze mille variétés de teintes divisées chacune en cinquante degrés du clair au foncé. Un autre artiste, le Provençale, fit entrer dans le visage du portrait du pape Paul V, des milliers de petites pièces rapportées dont la plus grosse était d'une dimension moindre que celle d'un grain de millet.

Les objets d'ornementation et de construction en poteries, ne diffèrent que par le choix des matières et le mode de fabrication plus ou moins soigné. Les

pâtes sont façonnées par moulage ou par coulage. Après séchage elle reçoivent une glaçure, c'est-à-dire un enduit susceptible de se vitrifier et de former une couverte. La cuisson se fait en une ou deux fois dans des fours chauffés au bois ou à la houille, jusqu'à ce que la pièce soit devenue dure et sonore.

Les grès cérames offrent une pâte dure, sonore, imperméable. Les grès communs donnent les tuyaux et siphons vernissés ; on les emploie encore sous forme de dalles, pavés en granit artificiel, carreaux monochromes ou multicolores.

M. Gillet a reconstitué la lave émaillée, en la pulvérisant et en la mélangeant avec des argiles.

## § 2. — PRINCIPALES BRIQUETERIES ET TUILERIES

L'industrie de la brique et de la tuile était largement représentée à l'Exposition universelle de 1889. La construction même des palais comportait l'emploi de ces produits; bon nombre de fabricants avaient exposé soit dans le pavillon de l'union céramique et chaufournière, soit dans d'autres parties du Champ de Mars.

En tête de ces maisons, se présente l'usine Muller d'Ivry-sur-Seine (2 grands prix, 4 médailles d'or) ; puis viennent la Société centrale des briqueteries de Vaugirard (médaille d'or), la grande tuilerie de Montchanin, la maison Perusson père et fils, l'usine Gilardoni (médaille d'or), etc., etc.

## § 3. — FABRICATION DES CARREAUX DE BEAUVAIS USINE RAFIN

MM. Rafin et Ameuille avaient envoyé à l'exposition de beaux échantillons de leurs carreaux. L'usine de Saint-Paul près Beauvais est la seule qui fabrique le carreau rouge et blanc de choix.

### *1. — Composition des pâtes.*

On extrait les terres au moins un an d'avance. On les mélange et on laisse au temps le soin de les désagréger. Il est indispensable de mélanger plusieurs espèces douées chacune de propriétés différentes qui se complètent mutuellement. Une seule terre ne peut donner un bon carreau.

Pour les pâtes *rouges*, le mélange est fait d'argile et d'une terre jaune, ocreuse, cuisant rouge foncé, qui forme la masse du carreau et à laquelle on

ajoute une autre terre encore plus rouge foncé, qui donne la teinte et rend la matière plus consistante.

Pour les pâtes *blanches* le mélange est formé d'une terre blanche, sablonneuse, demi-réfractaire, d'une terre blanche grasse qui forme la partie liante, et enfin d'une terre de grès noirâtre, très alcaline qui rend le carreau très dur.

En fait, un carreau comprend trois matières : une matière qui empêche le retrait, une matière qui forme masse agglomérante, une matière qui colore.

## *II. — Travail mécanique.*

La division se fait mécaniquement au moyen de tailleuses verticales. L'appareil se compose d'un arbre horizontal sur lequel se trouvent fixés des couteaux verticaux. Ces couteaux tournent avec l'arbre et viennent tour à tour trancher la motte d'argile qui est ramenée au moyen d'un plan incliné. Après découpage on *trempe* les terres et on les laisse ressuer pendant un jour pour établir l'égalité de consistance. Elles sont soumises ensuite à l'action alternative de deux malaxeurs et de trois paires de laminoirs.

La terre passe de là dans une filière d'où elle sort en deux bandes continues. Ces bandes sont ensuite divisées transversalement par un cadre garni de lames. d'acier et à mouvement alternatif. Les galettes sont ensuite portées au séchoir.

## *III. — Rebattage et retaillage.*

Le rebattage consiste à frapper le carreau avec une forte *batte* de manière à faire disparaître les aspérités, à glacer le carreau et à bien souder toutes ses parties.

Le retaillage se fait au couteau à l'aide d'un calibre dont les dimensions ont été calculées de manière à tenir compte du retrait produit par la cuisson.

## *IV. — Cuisson.*

La cuisson se fait dans des fosses cubiques. Le feu allumé sur la grille pénètre par des ouvertures ménagées dans la sole. L'opération dure un mois. La température est de 800°.

On défourne. Les carreaux sont ensuite triés comme dimensions ; puis comme couleur et enfin emmagasinés.

## *V. — Carreaux incrustés.*

L'usine fait aussi des carreaux incrustés. L'incrustation se fait toujours sur un carreau blanc, on porte la galette blanche sous une presse. Cette presse est

garnie d'un moule en plâtre. Ce moule représente en relief le dessin qui se moule en creux dans la pâte du carreau. La galette est pressée lorsqu'elle est à moitié sèche, on verse dans les creux la barbotine blanche mélangée d'oxydes métalliques correspondant à la couleur que l'on désire donner au dessin.

Après le séchage, les parties de barbotine excédentes sont enlevées avec un instrument d'acier appelé *doloir*. Le carreau est rebattu, coupé et cuit.

L'usine de Saint-Paul occupe 200 ouvriers. La production annelle est de 5 millions de carreaux. La force motrice peut être évaluée à 50 chevaux.

## § IV. — CARRELAGES ET PAVAGES CÉRAMIQUES DE A. DEFRANCE & Cie

### A PONT SAINTE-MAXENCE (OISE).

L'usine de Pont-Sainte-Maxence, créée en 1882, occupe une superficie de cinq hectares. La fabrication a été apportée de toutes pièces de Sarreguemines (Lorraine), à la suite des évènements de 1870.

Cette usine a obtenu une médaille d'argent à l'Exposition universelle de 1889.

Les produits, après avoir été fortement comprimés, sont cuits à très haute température ; ils présentent beaucoup d'homogénéité, de dureté et une grande densité. Ils sont très résistants à la gelée et à l'action des acides ; ils offrent également une grande tenacité et une grande résistance au choc.

Offrant peu de porosité, ils forment corps isolants et conservent facilement une température moyenne.

Ils sont très employés dans les constructions civiles et militaires et dans les grandes gares.

Ils sont posés facilement sur une couche de ciment de $0^m,01$ à $0^m,015$ d'épaisseur placée elle-même sur une forme en béton de $0^m,08$ à $0,^m15$ d'épaisseur s'il s'agit de travaux en plein air, ou sur une forme en mâchefer de $0^m,08$ à $0^m,10$ d'épaisseur pour les travaux intérieurs.

Les joints sont faits dans des conditions différentes dans ces deux cas.

Pour les travaux de pavage à l'extérieur, on prépare un coulis de ciment pur que l'on répand à la surface pour remplir tous les joints, puis, avant le séchage, on lave avec précaution afin d'enlever l'excès de coulis sans dégarnir les joints.

Pour le carrelage à l'intérieur, on remplit les joints au fur et à mesure de l'avancement du travail et non après l'achèvement, avec de la poudre de ciment dont la prise a lieu assez rapidement en raison de l'humidité du mortier.

La poudre est répandue sur la partie carrelée avec une brosse, puis les joints étant remplis, on enlève l'excès du ciment.

Pendant les premiers jours, on protège la surface avec des planches, puis on répand une légère couche de sable blanc.

Pendant la pose, s'il est nécessaire de couper un carreau, on trace à la règle une ligne au crayon, en dessus et en dessous.

La ligne est accentuée au moyen d'un burin et d'une massette. On place le carreau en porte à faux sur un corps dur, et suivant la ligne de rupture, on frappe ensuite une série de coups secs.

On peut encore saisir le carreau dans les mâchoires d'un étau garnies de plomb pour le frapper plus facilement.

Les essais reproduits ci-après sont très favorables.

Il faut reconnaître que les carreaux céramiques remplacent avec avantage les produits similaires et même les parquets en bois, surtout dans les locaux très fréquentés. De plus, ils évitent tout risque d'incendie. Ils sont même d'un prix plus réduit, si l'on tient compte des frais d'entretien, ainsi qu'il résulte du tableau comparatif ci-après.

En résumé, les carrelages et pavages céramiques de Pont Sainte-Maxence sont appelés à prendre une place très importante parmi les matériaux de construction. Ces produits, de qualité supérieure, méritent d'être signalés. Ils ont un aspect agréable, la pose est facile ; ils n'offrent pour la circulation aucun inconvénient. Une fois en place, ils n'exigent aucune réparation et l'usure est nulle.

MINISTÈRE
des
TRAVAUX PUBLICS
—
ÉCOLE NATIONALE
des
Ponts et Chaussées
—
Laboratoire
—
N° 4306

# EXTRAIT DU REGISTRE DES ESSAIS

**3 Carreaux céramiques** adressés par la **Maison DEFRANCE & C$^{ie}$, de Pont-Sainte-Maxence**, sur la recommandation de M. DUSUZEAU, Ingénieur des Ponts et Chaussées à Compiègne.

Les carreaux ont été essayés à l'écrasement en porte à faux dans les conditions suivantes :

On les a fait reposer sur des cadres en bois de chêne parfaitement ajustés, sur une largueur uniforme de 1 centimètre sur tout leur pourtour.

Au centre de la surface supérieure on a mis un petit cube en acier de 4 centimètres de côté sur lequel on a exercé des pressions croissantes pour amener la rupture des carreaux.

On a obtenu les résultats suivants :

| DIMENSIONS des CARREAUX ESSAYÉS | | | SURFACE de la base inférieure en porte à faux | DIMENSIONS — Tube d'acier transmettant la pression | Charge totale ayant produit l'éclatement | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| longueur | largeur | hauteur | | | | |
| 0$^c$.20 | 0$^c$.20 | 0$^c$.023 | 0$^c$.18 × 0$^c$.18 | 0$^c$04×0$^c$04×0$^c$04 | 567$^k$ | Carreau uni. |
| 0$^c$.16 | 0$^c$.16 | 0$^c$.017 | 0$^c$.14 × 0$^c$.14 | d° | 567$^k$ | d° |
| 0$^c$.14 | 0$^c$.14 | 0$^c$.038 | 0$^c$.12 × 0$^c$.12 | d° | 2.126$^k$ | Carreau cannelé. |

Paris, le 6 décembre 1890.

*Vu et vérifié par l'Ingénier en chef,*
*Directeur du Laboratoire,*
Signé : DURAND-CLAYE.

*L'Ingénieur des Ponts et Chaussées*
*Directeur-adjoint du Laboratoire,*
Signé : DEBRAY.

*Vu par l'Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Inspecteur de l'École,*
Signé : COLLIGNON.

Pour copie conforme :
*L'Ingénieur ordinaire,*
DUSUZEAU.

MINISTÈRE
des
TRAVAUX PUBLICS

ECOLE NATIONALE
des
Ponts et Chaussées

**Laboratoire**

Recherches statistiques et expériences sur les materiaux de construction

*Complément au Procès-verbal nº 4306, en date du 6 courant*

**3 carreaux céramiques** adressés par la **Maison DEFRANCE & Cie**, **de Pont-Sainte-Maxence,** sur la recommandation de M. Dusuzeau, ingénieur des Ponts et Chaussées à Compiègne.

Ces carreaux, de trois modèles différents, ont été soumis à deux séries d'expériences ayant pour but de constater leur résistance à la rupture par écrasement et à l'usure.

## 1° *Écrasement.*

On a découpé dans chacun des carreaux, des cubes de 20, 32 et 35 millimètres de côté environ, qui ont été mesurés et pesés exactement, puis pressés à la machine à levier sous des charges croissantes, jusqu'à rupture par écrasement.

Les résultats de ces essais ont été les suivants :

| | | POIDS RAPPORTÉ au MÈTRE CUBE ou DENSITÉ | 1res FISSURES — CHARGE Par cent. carré de surface portante | RÉSISTANCE à la rupture par écrasement, rapportée au centimètre carré de surface portante | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|---|
| 1er carreau (0c20/0c20/0c023) | 1er cube. | 2.394k | | 1.308k | Cubes de 2 c. de côté. |
| | 2e — | 2.432 | | 1.227 | |
| | 3e — | 2.419 | | 1.267 | |
| | 4e — | 2.388 | | 1.290 | |
| Moyennes. . . . | | 2.408k25 | | 1 273k | |
| 2e carreau (0c16/0c16/0c017) | 1er cube. | 2.339k | | 1.218k | Cubes de 3c,2 de côté (Les cubes de cette série ont été formés de deux épaisseurs de carreaux scellées l'une sur l'autre, à l'aide d'une couche de plâtre très mince). |
| | 2e — | 2.322 | 1.273k | 1.532 | |
| | 3e — | 2.308 | | 1.168 | |
| | 4e — | 2.358 | | 1.334 | |
| Moyennes. . . . | | 2.331k75 | | 1.313k | |
| 3e carreau (0c14/0c14/0c038) | 1er cube. | 2.346k | | 1.708k | Cubes de 3c, 5 de côté. |
| | 2e — | 2.324 | | 1.566 | |
| | 3e — | 2.223 | | 1.657 | |
| Moyennes. . . . | | 2.297k6 | | 1.643k6 | |

## 2° *Usure.*

Deux prismes de 0,04 sur 0,06 de base ont été découpés dans chacun des carreaux, l'un sur le côté, l'autre au milieu, puis posés sur une meule tournante en fonte, saupoudrée de sable et chargée à raison d'un poids de 250 grammes.

L'usure ou perte de hauteur mesurée sur chacun des prismes après un certain nombre de tours de la meule tournant avec une vitesse uniforme de 2.000 tours à l'heure est indiquée au tableau ci-dessous :

| | | NOMBRE de Tours de Meule | USURE ou Perte de Hauteur | OBSERVATIONS |
|---|---|---|---|---|
| 1er carreau (0c20/0c20/0c023) | Prisme de côté.. | 3.500 tours . | 1c. 82 | Le nombre de tours de meule faits pour chaque prisme a été limité par son épaisseur insuffisante pour pousser jusqu'au chiffre de 4.000 tours qui correspond à un parcours linéaire de 6560m. |
| | Soit pour | 4.000 tours . | 2c. 08 | |
| d° | Prisme du milieu | 3.500 tours . | 1c. 85 | |
| | Soit pour | 4.000 tours . | 2c. 11 | |
| Moyenne pour le 1er carreau après | | 4.000 tours . | 2c. 095 | |
| 2e carreau (0c16/0c16/0c017) | Prisme de côté.. | 2.500 tours . | 1c. 38 | |
| | Soit pour | 4.000 tours . | 2c. 20 | |
| d° | Prisme du milieu | 2.500 tours . | 1c. 43 | |
| | Soit pour | 4.000 tours . | 2c. 28 | |
| Moyenne pour le 2e carreau après | | 4.000 tours . | 2c. 25 | |
| 3e carreau (0c14/0c14/0c038) | Prisme de côté.. | 4.000 tours . | 2c. 17 | |
| d° | Prisme du milieu | 4.000 tours . | 2c. 14 | |
| Moyenne pour le 3e carreau après | | 4.000 tours . | 2c. 155 | |

Paris, le 23 décembre 1890.

*Vu et vérifié par l'Ingénieur en chef,*
*Directeur du Laboratoire,*
Signé : DURAND-CLAYE.

*L'Ingénieur des Ponts et Chaussées*
*Directeur-adjoint du Laboratoire,*
Signé : DEBRAY.

Pour copie conforme.

*L'Ingénieur ordinaire,*
DUSUZEAU.

## Tableau comparatif des frais d'entretien des chaussées en carreaux céramiques avec les frais d'entretien des autres chaussées.

### (*A*) *Bitumes et asphaltes*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Béton de chaux hydraulique de 0,05 d'épaisseur. . . . | 1 75 | Premier établissement . . . | 6 50 |
| Enduit en mortier de 0,01 d'épaisseur. . . . . . . | 0,60 | Entretien 1/10 pendant 7 ans (0,65 × 7) . . . . . . . . | 4 55 |
| Couche d'asphalte de 0,015 d'épaisseur. . . . . . . | 4 15 | Réfection de l'enduit en mortier et de la couche d'asphalte. | 4 75 |
| Total du mètre | 6 50 | Entretien 1/10 pendant 2 ans (0,65 × 2). . . . . . . . | 1 30 |
| | | Total du mètre | 17 10 |

### (*B*) *Ciments*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Béton maigre de ciment de 0,05 d'épaisseur . . . . . | 2 00 | Premier établissement . . . | 5 75 |
| Enduit au mortier de ciment au 1/3, 0,03 d'épaisseur. . . | 2 75 | Entretien 1/10 pendant 5 ans (0,60 × 5). . . . . . . . . | 3 00 |
| Chape au mortier de ciment au 9/10, 0,01 d'épaisseur . . | 1 00 | Réfection de l'enduit et de la chape . . . . . . . . . | 3 75 |
| Total du mètre | 5 75 | Entretien 1/10 pendant 4 ans (0,60 × 4). . . . . . . . | 2 40 |
| | | Total du mètre | 11 90 |

### (*C*) *Briques de plat*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 38 briques à 50 francs le mille | 1 90 | Premier établissement . . . | 3 50 |
| Mortier de pose . . . . . | 0 50 | Entretien 1/10 pendant 4 ans. | 1 40 |
| Main-d'œuvre . . . . . . . | 0 65 | Réfection complète . . . . | 3 50 |
| Faux-frais, bénéfice 15/00 . . | 0 45 | Entretien . . . . . . . . . | 1 40 |
| Total du mètre | 3 50 | Réfection complète . . . . | 3 50 |
| | | Entretien . . . . . . . . . | 1 40 |
| | | Total du mètre | 14 70 |

### (*D*) *Carrelages de Pont-Sainte-Maxence (Oise)*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Achat avec 10 0/0 de rabais (carreaux 0,16 × 0 16) . . . | 4 50 | Premier établissement . . . | 8 95 |
| Transport moyen . . . . . | 0 75 | Frais d'entretien . . . . . . | néant |
| Octroi et cammoniage (approximativement) . . . . | 0 40 | Total du mètre | 8 95 |
| Mortier de chaux hydraulique | 0 60 | | |
| Main-d'œuvre de pose . . . | 1 50 | | |
| Faux-frais, bénéfice 15 0/0 . . | 1 20 | | |
| Total du mètre | 8 95 | | |

### (*E*) *Pavages de Pont-Sainte-Maxence (Oise)*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Achat avec 10 0/0 de rabais (pavés de 0,03 épaisseur) . . | 5 27 | Premier établissement . . . | 10 80 |
| Transport moyen . . . . . | 1 25 | Frais d'entretien. . . . . | neant |
| Octroi et cammoniage (approximativement) . . . . | 0 60 | Total du mètre | 10 80 |
| Mortier de ciment. . . . . | 0 80 | | |
| Main-d'œuvre de pose . . . | 1 50 | | |
| Faux-frais, bénéfice . . . . | 1 38 | | |
| Total du mètre | 10 80 | | |

N. B. — Les calculs de ces prix comparatifs ont été établis au mètre carré. En pratique il est admis qu'on peut compter un service moyen de : (**A**) Pour les *Bitumes et Asphaltes*, 10 ans, après lesquels il faut refaire l'enduit en mortier et la couche d'Asphalte. Il faut de plus, comprendre dès la 4e année, 1/10 d'entretien annuel. (**B**) Pour les *Ciments*, 8 ans, au bout desquels il faut refaire les deux chapes avec 1/10 d'entretien annuel dès la 3e année. (**C**) Pour les *Briques*, 5 ans, après lesquels il faut tout refaire. — On peut compter l'entretien dès la 2e année.

## § V. — MANUFACTURE DE CARRELAGES CÉRAMIQUES DE MM. BOCH Frères

La maison Boch frères, à Maubeuge (Nord), exposait dans la classe 20 groupe 3. Elle a obtenu un grand prix à l'Exposition.

Elle fabrique des carreaux en grès cérame, c'est à dire formés de pierres pulvérisées et de terre, et ensuite cuits jusqu'à vitrification. La décoration se fait par incrustation avant la cuisson. Par le choix des matières premières, par la fabrication soignée, par l'intensité de la chaleur à laquelle les carreaux sont soumis, le produit obtenu est d'une grande perfection. D'une dureté excessive, il raye le verre et fait feu au briquet ; il n'est pas poreux ; ni les acides, ni les changements atmosphériques n'ont de prise sur lui.

### I. — *Composition de la pâte.*

La pâte est de nature feldspathique. C'est un silicate double d'alumine et de chaux. Il y a un peu d'argile, dans la proportion strictement nécessaire, pour permettre à la pâte de s'agglutiner par une forte pression. Le feldspath est une roche très dure provenant du Luxembourg. On l'emploie en très grande épaisseur pour renforcer les dessins tout en ne donnant qu'une faible épaisseur aux pâtes colorées.

### II. — *Fabrication du carreau.*

*Broyage.* — Au début de la fabrication, les terres sont broyées à l'état de siccité où elles se trouvent lors de leur arrivée à l'usine, dans un concasseur à mâchoires ayant la forme d'une trémie et dans laquelle on jette les fragments à concasser. Les faces de cette trémie sont formées d'une plaque de forte tôle solidement attachée sur un bâti solide. Sur l'une d'elles, un long bras de levier mobile autour d'un axe peut se rapprocher alternativement de la première face lorsqu'un excentrique de forme déterminée vient agir. Les menus tombent sur des trieurs mécaniques formés par une série de claies ou tamis métalliques dont les trous les plus fins sont à la partie supérieure.

*Porphyrisation.* — Les terres sont ensuite cylindrées dans de grandes cuves horizontales en granit, à l'aide de rouleaux également en granit. Pour cette opération, on ajoute une quantité assez considérable de terre qu'il convient ensuite d'éliminer au cours des opérations suivantes. On charge cinq tonnes à la fois et on sépare par lévigation les parties les plus fines. Le mouvement est

donné par la partie inférieure. Le diamètre d'un moulin est de $3^{m},00$. Il faut 4 chevaux de force.

*Raffermissement.* — Les terres à l'état de bouillie sont aspirées par une pompe et refoulées, sous une forte pression, dans des caissons à cadres munis de toiles à travers lesquelles s'échappe une grande partie de l'eau ; on recueille ainsi des gâteaux de terre contenant 7 % d'eau. Ces gâteaux sont déposés sur les claies de chambres convenablement aérées et y séjournent un ou deux mois avant d'être passés à l'étuve : on les retire quand ils ne contiennent plus que 1 % d'eau environ.

*Mélange et dosage.* — Les matériaux convenablement dosés sont malaxés avec la moindre quantité d'eau possible sous l'action de molletons ou tordoirs ordinaires. Cela exige l'emploi d'une force de 2 chevaux-vapeur par 4000 kilogrammes de terre préparée. Après pulvérisation et tamisage, les terres de couleurs initiales diverses obtenues par mélange, sont amenées, par des procédés mécaniques fort ingénieux, dans les cases spéciales de la salle des presses qui occupe cent quatre-vingts femmes et vingt-cinq à trente ouvriers.

*Moulage.* — C'est dans cette salle que se fait le moulage des carreaux. On se sert de moules métalliques à parois assez épaisses pour résister à des pressions considérables. Ces moules carrés, de la forme des carreaux eux-mêmes, s'emboîtent dans une masse présentant des cavités de dimensions convenables. La surface extérieure est cylindrique ; des poignées permettent de déplacer facilement chaque bloc.

Pour un carreau simplement granité, on saupoudre le fond du moule de ciment grossier de couleur claire. On le remplit ensuite d'une petite couche de remplissage, légèrement humectée, qui forme la pâte plus colorée ; au milieu les grains de ciment se trouvent empâtés. On soumet le tout à la presse, par pressions successives, jusqu'à ce que l'épaisseur primitive ait été réduite de moitié. Cela fait, on retire le moule et on le remplit de terre commune qui fait le fond du dessin. Ce dernier se trouve donc incrusté sur une épaisseur de deux à trois millimètres qui suffit pour résister à l'usure.

Pour les carreaux à deux teintes juxtaposées, mi-partie rouges et mi-partie blancs, séparés par une diagonale, on met en travers du moule une petite bande de fer-blanc très mince et de peu de hauteur. On met dans un compartiment la terre rouge en poudre humide et, dans l'autre, la terre blanche. On comprime. On enlève la feuille de fer-blanc. On remplit de terre commune et on comprime jusqu'à refus, après être arrivé au tiers de l'épaisseur primitive.

Si le carreau à mouler doit reproduire des dessins variés, on dépose dans le fond du moule, le modèle en zinc avec rebords de 3 à 4 millimètres de hauteur correspondant aux liserées ou bordures des dessins à obtenir. Ce modèle forme

une série de petites cases dans lesquelles les terres de différentes couleurs sont introduites soit à la main, soit en appliquant successivement sur le premier modèle d'autres plaques en zinc qui ne découvrent que les ouvertures propres à la même nuance. Les modèles sortis après compression, on achève de remplir le moule avec une terre de coloration naturelle. La pression donnée par la presse est alors de 150 à 200 atmosphères ; elle est constatée par un compteur qui ne fonctionne que si la pression minimum de 150 atmosphères est atteinte réellement.

*Séchoirs.* — Les carreaux pressés vont aux séchoirs. Les bavures formées par la presse sont soigneusement enlevées à l'aide d'une lame de rabot pour éviter les accidents lors de la pose. Le séchoir est une immense étuve portant des rayons ou planchers non jointifs sur lesquels on dispose les carreaux déjà très chauds, aussitôt après le démoulage. Le séchoir peut être chauffé par une circulation d'air chaud ou de vapeur.

*Four.* — Le four a la forme d'une tour ronde ; des alandiers sont disposés régulièrement au bas de la tour et circulairement. On cuit avec du charbon de terre. Les carreaux sont encastrés, c'est à dire disposés dans des vases on cazettes en terre très réfractaire obtenus aussi mécaniquement. Entre chaque carreau et dans le fond de la cazette, on met un lit de sable, de façon à s'opposer à la déformation. Des étuis sont placés jointivement côte à côte, en laissant entre eux (ils sont à section carrée) des espaces circulaires dans lesquels la flamme s'élève et s'abaisse alternativement entre deux rangées consécutives pour gagner une cheminée commune. Pendant la cuisson, la calotte supérieure est fermée. Après cuisson en vase clos, on découvre : l'air froid passe par la porte qu'on a démolie. Cet air s'échauffe et est utilisé ensuite pour les séchoirs. La cuisson, qui a duré de huit à dix jours, est complète. On laisse tomber la chaleur qui était, d'après des mesures approximatives, de 1600°, à la température ambiante. On pénètre alors dans le four et on défourne. Les carreaux sont triés avec soin. Le retrait est environ de 10 %. Les carreaux obtenus dans le moule de 185 millimètres n'ont plus, après cuisson, que 170 à 173 millimètres. La cuisson demande 2 kilogrammes de combustible par carreau.

*Equerrage.* — Après le défournement, les carreaux passent à l'équerrage ; c'est une opération de classement en plusieurs choix ou catégories, suivant l'accentuation des nuances et des défauts inhérents à ce genre de fabrication. Ceux qui sont bulleux, bouillonnés, sont mis au rebut.

Pour avoir toutes les qualités requises, un carreau doit avoir les arêtes abattues, car elles sont fort coupantes et avoir un aspect satisfaisant comme coloration. Un bon carreau bien cuit doit couper le verre, supporter feu d'un brasier et

résister au frottement d'une meule pendant un quart d'heure, sous l'effort de 20 à 25 kilogrammes, la meule marchant à cent tours à la minute. Il doit résister à une pression de 700 à 800 kilogrammes par centimètre carré ; enfin, il ne doit pas absorber plus de 1 % d'eau.

## § VI. — SOCIÉTÉ CENTRALE DES BRIQUETERIES DE VAUGIRARD

La Société centrale des Briqueteries de Vaugirard avait envoyé de nombreux échantillons de ses briques, de ses boisseaux, système Gourlier, et de ses wagons.

Les *boisseaux, dits Gourlier,* servent à construire les tuyaux adossés aux murs.

Les *wagons* servent à la construction des tuyaux de fumée à incorporer dans l'épaisseur des murs.

Le moulage de ces différentes pièces se fait avec une *machine à boisseaux,* dite *revolver.* Cette machine se compose essentiellement de deux cylindres verticaux en fonte qui peuvent tourner autour d'un montant également vertical. Ce montant sert aussi de support au mécanisme supérieur. Ces cylindres sont remplis de terre tour à tour. L'un est en chargement pendant que l'autre, placé sous le mécanisme, est parcouru par un piston qui refoule la terre dans une filière fixe supportée par le plancher. Un mouvement de rotation d'un demi-tour met le cylindre plein à la place du cylindre vide. Il y a un débrayage pour opérer le remontage rapide du piston. A la partie inférieure se trouve le plateau équilibré qui reçoit les pièces au sortir de la filière avec la pédale et le dispositif ordinaire pour faire l'emboîtement.

On peut changer la filière.

La production de cette machine est de 800 pièces par jour. Son poids est de 2 500 kilogrammes.

Après moulage, les pièces sont séchées, puis cuites dans les fours à briques.

On procède de même pour les tuyaux ventouses, les conduites d'eau, les mîtres, etc., etc.

Les tuyaux de conduite d'eau sont faits en grès cérame grossier.

## § VII. — WAGONS SOLIDAIRES E. LACOTE & Cie

Sur la berge de la Seine, côté du Trocadéro, on remarquait dans une annexe de la classe 63, des tuyaux de fumée ou wagons solidaires inventés par M. E. Lacôte.

Les wagons solidaires Lacôte ont été créés dans l'intention d'annuler les deux dispositions défectueuses assez importantes, au point de vue de la construction et du bon fonctionnement des tuyaux de cheminées, que l'on rencontre toujours dans l'emploi des wagons connus jusqu'à ce jour, savoir :

1° Le déliaisonnement en hauteur produit dans un mur de construction par le placement des colonnes de wagons actuels ;

2° La communication possible de la fumée ou du feu d'une colonne de tuyaux dans une autre.

Il suffit, dans les maisons construites actuellement, qu'une cheminée soit allumée dans un appartement pour que les appartements voisins soient envahis par la fumée.

Les gaz sulfureux que dégagent les poêles à faible combustion détériorent les joints en plâtre des boisseaux ou poteries minces qui forment les coffres saillants. Ces dégradations aident à la communication des conduits entre eux. Le liaisonnement en tous sens est un principe dont on ne doit jamais se départir en matière de maçonnerie ou de limousinerie. Il faut donc que les wagons employés pour la construction des cheminées dans l'épaisseur des murs coupent les *joints en montant*.

Cette condition est réalisée avec les wagons Lacôte. Le wagon est double, mais sur la moitié de cette hauteur il porte des redans de deux côtés, permettant un vrai liaisonnement avec les matériaux du mur de construction. Successivement chaque wagon Lacôte étant tenu de la même façon, le liaisonnement général dans la hauteur est presque aussi parfait que si le mur était plein.

En outre, ces wagons étant doublés sur la hauteur, la disposition est telle que les joints horizontaux ne sont jamais à la même hauteur d'une colonne de tuyaux à une autre. Aucun passage de fumée ou de feu n'est donc à craindre d'un conduit dans l'autre.

Les terres employées ont toutes les qualités des meilleures terres cuites des produits similaires employés dans le bâtiment.

On admet que quatre wagons Lacôte remplacent six wagons ordinaires. Leur prix est plutôt moins élevé que le prix des autres produits. Ils se fabriquent dans les dimensions usitées comme épaisseurs diverses des murs et hauteurs d'assises, pour permettre le liaisonnement avec la brique et le moellon. — De plus les pièces peuvent être changées facilement.

Les wagons Lacôte réalisent un sérieux progrès.

## § VIII. — MAISON A. JANIN ET GUÉRINEAU.

MM. Huet et Beudon, fabricants de produits céramiques, 172, avenue de Choisy, à Paris, exposaient, dans le Palais des Machines, des échantillons de

céramique industrielle. Ils ont depuis cédé leur usine à MM. Janin et Guérineau.

Le Jury de l'Exposition universelle leur a décerné une médaille de bronze.

MM. Janin et Guérineau, en outre des briques réfractaires, fabriquent des cornues, des dalles et sommiers pour pièces de fours.

## I. — *Briques réfractaires.*

(a). *Briques réfractaires.* — Ces briques sont susceptibles de supporter une température de 1 800° centigrades ; elles sont employées dans les usines métallurgiques et dans les fabriques de produits chimiques.

Ces briques sont à base de silice et d'alumine, selon qu'elles sont destinées à l'une ou l'autre de ces industries ; elles portent la marque « *E. Beudon et Dalifol,* » et peuvent rivaliser avec les briques de fabrication anglaise.

(b). *Briques légères et réfractaires.* — La matière qui les compose est d'une densité = 0,07. Ces briques sont agglomérées sous une pression de *12 000 kilogrammes*, et sont employées avec avantage dans les foyers de chaudières de torpilleurs, voitures à vapeur, etc, etc.

(c). *Briques résistant aux acides.* — La composition toute spéciale de ce produit, a été reconnue comme donnant des résultats dépassant toute espérance, en ce qui concerne la résistance comme revêtement intérieur des tours de Glower et de Gay-Lussac.

## II. — *Cornues.*

(a). *Cornues à gaz.* — La maison Huet et Beudon a été la première, à Paris, à fabriquer les cornues à gaz.

(b). *Cornues pour le traitement du sulfure d'antimoine.* — Ce type de cornue tout spécial est d'une forme rectangulaire, de dimensions moyennes, ouverte aux deux extrémités, et dans laquelle pénètre un creuset ou nacelle, en forme berceau d'enfant, dans lequel on introduit le produit à traiter.

A chaque extrémité de la cornue, se trouvent deux tubes verticaux, l'un servant à l'écoulement de l'antimoine en fusion, l'autre au dégagement des gaz.

Le four dans lequel elles sont en usage est le plus souvent un four à réverbère.

(c). *Cornue pour la distillation du zinc.* — Cette cornue est d'une forme variable, suivant le genre de four adopté.

Un réfrigérant et un tube d'évaporation y sont adaptés.

La matière qui compose ces produits est cuite à une très haute température ;

elle n'est pas poreuse ; de ce fait, le sulfure de zinc ne peut s'infiltrer dans les parois de la cornue.

(d). *Cornue pour le recuit des métaux.* — Cette cornue, ou moufle, d'une forme rectangulaire de moyenne longueur, présente une épaisseur un peu forte afin de résister au poids du métal à traiter.

(e). *Cornue à noir animal.* — Cette cornue, vernie intérieurement, est placée verticalement dans un four Blaize; elle est supportée aux deux extrémités dans deux pièces évidées pour l'entrée et la sortie de la matière traitée ; on estime à 1 100° la température qu'elle est appelée à supporter. Les sucreries font une grande consommation de ce produit; la maison Beudon et Huet a été la première en France à fabriquer dans ces conditions.

## III. — *Pièces de fours à pyrites.*

(a). *Dalles.* — Les dalles sont légèrement cintrées, à recouvrement, ce qui en facilite l'assemblage et diminue le nombre de joints ; la pâte destinée à la fabrication de ces pièces doit donner une matière résistante et non friable qui résiste à l'action du ringard et supporte les variations brusques de température.

(b). *Sommiers.* — Les dalles sont supportées à leurs extrémités par des sommiers, en terre réfractaire également.

## IV. — *Creusets.*

(a). *Creusets pour charbons à lumière.* — Le creuset de forme cylindrique permet la cuisson des charbons en vase clos.

Ce creuset varie de dimensions suivant la hauteur et le diamètre des charbons à cuire.

La maison exécute depuis 0m,10 de hauteur et 0,05 de diamètre jusqu'à 0m,80 de hauteur sur 0m,60 de diamètre.

L'usine fabrique ces creusets mécaniquement, et peut en produire 3 000 par jour.

(b). *Creuset pour la calcination du bleu d'outre-mer.* — Ce creuset est à peu près semblable au précédent ; il est muni d'un couvercle. Sa composition est semblable à celle du creuset pour charbons à lumière.

(c) *Creuset pour le traitement du bioxyde de baryum.* — Ce creuset est de forme carrée, devant offrir une certaine résistance.

(d). *Creuset ou boîte pour le traitement de l'eau oxygénée.* — Ce creuset ou boîte est ordinairement de forme carrée, 0m,44 sur 0m,44. Il est d'une composition toute spéciale ; il doit pouvoir supporter un certain poids. L'expérience a démontré la nécessité de cuire le moins possible ce produit.

### V. — *Pièces diverses.*

La maison Janin et Guérineau exécute toute pièce réfractaire, quelle que soit sa forme, telles que *pièces pour intérieur de cubilot, pièces pour foyer de locomotive.* Ces pièces, pesant jusqu'à 55 et 60 kilogrammes, forment ensemble la voûte qui est indispensable pour préserver les tôles de coups de feu. Ce système est maintenant appliqué par toutes les grandes compagnies de chemins de fer. L'usine fabrique des *moufles de toutes sortes* pour l'essai des émaux ou pour le recuit des métaux, des *pièces pour intérieur des fours à chaux, de poêles et cheminées;* des *pièces pour garniture de dégoudronneur,* etc.

En résumé, l'usine est à même de livrer à l'industrie tous les produits, selon l'emploi auquel ils sont destinés.

### VI. — *Moufle à cages superposées, système Dalifol et Huet.*

Ce moufle est très apprécié par les principales fabriques de faïence d'art en France et à l'étranger.

Il présente divers avantages; il rend la cuisson uniforme, et il assure une très grande économie de combustible. Il est employé pour le recuit des métaux, pour la cuisson du biscuit de faïence, des statuettes, des panneaux décoratifs et de tous émaux, etc., etc., et enfin pour la peinture sur verre.

### VII. — *Fourneau à gazettes, réductible.*

Ce four permet les mêmes emplois que le précédent; on peut en modifier les dimensions en disposant d'une manière convenable les éléments de la construction.

## § IX. — TERRES CUITES ET FAIENCES ARCHITECTURALES DE J. LŒBNITZ

La classe 20, céramique, renfermait entre autres xpositions les produits remarquables de M. J. Lœbnitz. Ce dernier était hors concours et membre du jury. De nombreux motifs en terre cuite ou en terre cuite émaillée, sortant de cette maison, ont été employés à la décoration des divers palais et bâtiments de l'Exposition universelle de 1889.

Nous citerons les motifs, frises, balustrasde, arabesques et médaillons des

palais des Beaux-Arts et des Arts-Libéraux, les soubassements, épis, cabochons écussons, du palais de la République Argentine, l'archivolte du palais Assyrien, les carreaux sur émail cru du palais de l'Algérie, les culs de lampe de la porte de la céramique, les inscriptions diverses du pavillon du Chili.

M. J. Lœbnitz fait également des poêles et des cheminées en faïence de tous styles, très remarquables. Ses carreaux ont une grande pureté de teinte alliée à une grande finesse de matière.

## § X. — CÉRAMIQUE ANGLAISE

L'exposition anglaise dans les palais des industries diverses offrait différents échantillons de produits céramiques.

On remarquait des grès vernis, des faïences, des fourneaux en terre cuite. Il y avait surtout des carreaux et décorations pour murs et cheminées des maisons Copelano, Brown-Westhead Moore et C^ie^, des usines de Leeds, de Newcastle, de Stombridge, de Doulton. C'est en Angleterre que l'emploi de la terre cuite, de la céramique a pris tout d'abord une grande extension, par suite de la difficulté du transport de la pierre. On cite notamment le palais municipal de Birmingham, le musée de South-Kinsington à Londres, le nouveau musée d'histoire naturelle, le quartier neuf de Charing Cross.

Les produits anglais se classent en deux catégories :

1° La terre *cuite très dure*, d'un jaune rose ;

2° La terre *cuite friable*, d'un rouge franc.

Cette dernière, quoique fragile, résiste bien au temps et aux intempéries ; elle est d'une grande durée.

Dans les deux cas, les procédés de fabrication sont les mêmes. Les matières, argile plastique et silice, sont broyées séparément dans un moulin. On obtient une boue très liquide que l'on verse par des tuyaux de sections calculées avec soin, dans une cuve où se fait le mélange. La bouillie liquide est ensuite montée au moyen d'une pompe d'un modèle spécial, sur des toiles en forme de sacs.

Ces sacs sont pressés entre des cadres en bois. Quand l'excès d'eau est chassé, on trouve une bande de pâte céramique d'environ ($0^m,02$) deux centimètres d'épaisseur, qui est alors enroulée sur elle-même.

Comme la consistance de la pâte n'est pas constante dans toutes les parties de la masse, on la soumet dans une cuve à un pétrissage, soit par l'opération dite du marchage, soit au moyen d'une batte.

Un dernier malaxage dans un appareil convenable rend le tout homogène.

La pièce céramique est alors moulée, puis séchée et enfin cuite dans un four à mouffle, muni de caisses en terre réfactaire, dites cazettes.

On chauffe pendant deux à trois jours, à une température d'environ 1 500 degrés centigrades.

Afin d'éviter autant que possible toute déperdition de chaleur, on défourne à la température la plus élevée que les ouvriers puissent supporter pendant les quelques secondes nécessaires pour le défournement, vers 300° centigrades.

Les plaques ainsi cuites sont alors portées à la décoration, à l'émaillage.

L'opération exige beaucoup de soins ; elle est faite par de véritables artistes en général des femmes ou des jeunes filles. Sur des dessins tracés à l'avance au moyen de poncifs, quand il s'agit d'ornementations de modèles courants, on reporte à l'avance les émaux en poudre, choisis de manière à donner diverses couleurs après la vitrification.

Parfois, il est appliqué au préalable une première couche d'émail blanc qui sert de placage intermédiaire entre les émaux colorés et la terre. La pièce est alors reportée une seconde fois au four pour la fusion d'une couche additionnelle formant vernis.

Les carreaux de revêtement ne sont cuits qu'une seule fois, la pâte et l'émail recevant la cuisson en même temps.

On conçoit que la main-d'œuvre joue un rôle considérable dans cette industrie. L'apprentissage long et sérieux dans la Staffordshire dure pendant une période de cinq ans. Il existe un ensemble d'obligations morales entre le patron et l'apprenti qui constitue un lien étroit, surtout si les deux parties appartiennent à la même secte religieuse.

Anciennement même, le contrat d'apprentissage mentionnait ces obligations ; on cite celui de Josiah Wetgwood s'engageant dans l'atelier de son frère aîné.

« Ledit Josiah se lie audit Thomas Wetgwood qui devra lui apprendre son art, ses secrets, la manière d'employer le tour, pour une période de cinq ans, durant lesquels ledit apprenti son maître bien et fidèlement servira, ses secrets gardera, ses loyaux ordres exécutera ; ne devant lui faire aucune nuisance, ni vilainement souffrir qu'il lui en soit fait. Il ne jouera ni aux cartes ni aux dés ; il ne hantera ni les tavernes ni les *ale-houses*. Il ne commettra pas de fornications, ni ne contractera mariage ; ne s'absentera jamais sans congé.

« Moyennant quoi son maître s'engage à lui enseigner l'art du potier le mieux et le plus complètement qu'il se pourra, à lui donner à boire et à manger, le blanchissage et le logement, plus les vêtements de toute nature, soit de linge, soit de drap et autres nécessités, qu'il soit malade ou bien portant.

« En foi de quoi lesdites parties se sont liées par les présentes en échangeant sceaux et signatures. »

Le Wetgwood Institute de Buvalem dont la construction a été inaugurée par M. Glastone, en 1863, est subventionné par un *grant* du gouvernement.

Les ouvriers de Staffordshire sont très habiles. La journée est de neuf heures

et demie, et l'ouvrier aux pièces ne travaille que quatre jours par semaine. La manufacture est fermée le samedi à midi.

Le salaire par *semaine* est établi comme suit :

Hommes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ouvriers presseurs de l'argile . . . | 37 fr. 50 | à | 45 fr. 00 |
| Modeleurs . . . . . . . . . . | 54 fr. 50 | à | 78 fr. 00 |
| Faiseurs de moules . . . . . . . | 50 fr. 00 | à | 62 fr. 00 |
| Mouleurs en creux . . . . . . . | 30 fr. 00 | à | 54 fr. 00 |
| Mouleurs en plat . . . . . . . . | 35 fr. 00 | à | 50 fr. 50 |
| Faiseurs de Cazettes. . . . . . | 43 fr. 00 | à | 65 fr. 50 |
| Chauffeurs de fours . . . . . . . | 65 fr. 50 | à | 75 fr. 00 |
| Graveurs . . . . . . . . . . | 43 fr. 00 | à | 54 fr. 00 |
| Emailleurs . . . . . . . . . . | 40 fr. 00 | | — |
| Dessinateurs . . . . . . . . . | 75 fr. 00 | à | 150 fr. 00 |
| Peintres . . . . . . . . . . | 54 fr. 50 | à | 78 fr. 75 |

Femmes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Imprimeuses . . . . . . . . . | 17 fr. 50 | à | 25 fr. 00 |
| Brunisseuses . . . . . . . . . | 10 fr. 00 | à | 12 fr. 50 |

## § XI. — INDUSTRIES CÉRAMIQUES ÉTRANGÈRES

D'autres pays avaient exposé de beaux échantillons de leurs produits céramiques.

### I

En *Portugal*, l'industrie céramique est très en progrès. La fabrique de M. Caldas de Rainha près Lisbonne exposait dans le pavillon spécial du Portugal, sur la berge du quai d'Orsay, une importante collection d'imitations des poteries de Bernard Palissy. M. Bordallo Pinheiro avait réuni une série d'imitations très curieuses de la vieille céramique portugaise.

### II

Le pavillon de la *Cochinchine* au Champ de Mars, renfermait une collection de faïences indigènes, bizarrement décorées, mais avec beaucoup de goût et d'harmonie dans la couleur.

### III

La compagnie de l'*Oued-Birh* avait au Champ de Mars un pavillon dont la jolie façade était ornée de faïences à fond bleu, reproduisant celles de la mosquée de Sidi-ben-Haloui, à Tlemcen.

IV

L'exposition du *Brésil* renfermait dans une annexe spéciale une collection d'antiquités curieuses, telles que des pièces de céramique provenant des îles de Majaro, à l'embouchure de l'Amazone où, depuis les temps les plus reculés, des potiers travaillent la terre d'une façon très habile.

### § XII. — EXPOSITION RUSSE

La Russie exposait ses produits dans le palais des Machines. On remarquait les beaux échantillons de ciments de M. Eger, de Wisoka (gouvernement de Saint-Pétersbourg), de jolis spécimens des travaux en ciment de la société Moscovite, et enfin les plans d'architecture de M. Phietta à Saint-Pétersbourg, et de M. Rycerski à Varsovie.

Un Russe, M. Paul de Kistoffowitch, exposait une pierre artificielle très remarquable, le *pyrogranit.* Le pyrogranit a l'aspect des granits naturels, et il coupe le verre comme les pierres fines. Pour écraser un pavé de ce nouveau produit, il faut une pression de 260 000 kilogrammes par centimètre carré. Le pyrogranit ne se désagrège pas à l'air, il s'use difficilement et, plus résistant que le granit ou le marbre, il se polit comme eux et peut les remplacer dans tous leurs emplois. Il est inattaquable aux acides, imperméable aux corps gras, prend toutes les formes désirables, n'a qu'un faible retrait. Sa couleur varie du noir au brun clair. Le prix de revient est le même que celui de la brique réfractaire.

Le pyrogranit se fabrique avec de l'argile rouge et de l'argile réfractaire, unies en quantités variables, soumises à la pression puissante d'une presse hydraulique, puis à l'action d'une température élevée.

---

# VII. — BOIS

### § I. — NOTIONS GÉNÉRALES

Parmi les matériaux de construction le bois continue à occuper une place considérable, malgré l'extension prise par les constructions métalliques. Les travaux de chemins de fer, les bois de revêtement pour les habitations et la

Marine, les bois de wagons, les bois de pavage, représentent une consommation très importante.

Le bois a conservé son emploi pour le parquetage, le voligeage, la menuiserie, la charonnerie, l'ébénisterie.

L'étude des bois présente un grand intérêt au point de vue de la production, de l'exploitation, de l'usage.

Les bois peuvent être rangés en cinq classes, savoir :

(*a*). — ***Bois durs***, comprenant le chêne, le hêtre, le châtaignier, le frêne, le noyer, l'orme.

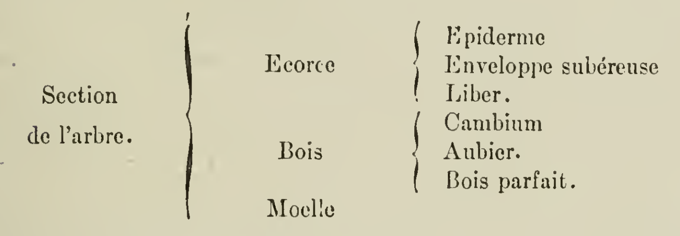
(*b*). — ***Bois blancs***, comprenant l'acacia, l'aune, le bouleau, le charme, l'érable, le peuplier, le tremble, le platane, le tilleul.

(*c*). — ***Bois fins***, comprenant le buis, le cormier ou sorbier, le cornouiller, le mérisier, le poirier, le pommier.

(*d*). — ***Bois résineux***, comprenant le pin, le sapin, le mélèze.

(*e*). — ***Bois exotiques***, le gaïac.

Dans la section transversale d'un arbre on remarque les divisions suivantes :




L'*épiderme* est la première couche de l'écorce que l'on rencontre en examinant un arbre.

La deuxième couche plus profonde et de nature fibreuse est le *liber*. Entre le liber et l'épiderme se trouve une couche de nature cellulaire, l'*enveloppe subéreuse*.

Entre l'*écorce* et l'*aubier* se trouve une matière celluleuse qu'on appelle *cambium* ; c'est elle qui fournit les éléments nécessaires à l'accroissement du bois.

L'*aubier* qu'on rencontre ensuite en pénétrant plus profondément dans le cœur de l'arbre est un bois imparfait dont chaque année la couche intérieure devient bois. La sève y circule plus facilement que dans le bois parfait. Les fibres y sont moins fortes, moins serrées et d'une teinte plus claire. L'aubier s'attaque à l'humidité ; il constitue un vice considérable lorsqu'il est conservé dans les bois employés pour les constructions.

La *moelle* est formée de tissus cellulaires. Dans les jeunes arbres la moelle est très molle ; elle est très dure dans les vieux arbres, parfois elle disparaît.

Les bois verts, suivant qu'ils sont plus ou moins compacts, peuvent renfermer 37 à 48 % d'eau. Cette proportion peut se réduire de moitié après un an de coupe. Il est néanmoins très difficile de dessécher complètement le bois.

Le bois peut se conserver indéfiniment dans l'*air sec* et dans l'*eau*, mais il s'altère à l'*air humide* et tombe en poudre.

La densité des bois est très variable avec leur essence, mais la plupart des bois sont plus légers que l'eau.

L'arbre croît de la manière suivante. Le cambium apporte les éléments nécessaires à la croissance. La sève montante produit une couche fibreuse du côté de l'*aubier* et une couche très mince du côté du *liber*. En même temps que l'aubier se forme, une autre partie de cet aubier, près du bois, se transforme en bois parfait. Chaque année il se forme une nouvelle couche de bois dans l'intervalle qui sépare le bois de l'écorce. Il se forme aussi une nouvelle couche d'écorce dans le même intervalle ; mais le nombre des couches de l'écorce est moindre que celui des couches du bois, parce que, intérieurement, elle s'incorpore au bois et que, extérieurement, il s'en détache une partie. La division des couches du bois étant marquée, elle peut suffire pour déterminer l'âge des arbres.

On rencontre parfois dans les arbres une partie indépendante du reste du bois ; on lui donne le nom de *nœud*. Le nœud est formé par des fibres déviées, qui, au lieu de sortir, continuent perpendiculairement et se croisent.

La bonne qualité des bois peut se reconnaître aux différents indices suivants : Absence de nœuds. — Régularité des couches. — Rectitude des fibres. — Couleur. — Odeur. — Son clair. — Elasticité des copeaux. — Tenacité des fibres. — Les principaux défauts des bois sont les suivants : Aubier. — Double aubier. — Roulure ou vide. — Nœuds. — Gelivures, gerces (fentes). — Torsion. — Cadranure. — Vermoulure. — Ulcères. — Carie.

L'abatage des bois se fait ordinairement en hiver, une fois la culture des champs terminée. Comme on n'est assuré de la durée des bois que lorsqu'ils sont abattus hors sève, l'exploitation doit être terminée vers le milieu d'avril. Les bois abattus sont transportés à l'aide de voitures appelées *fardiers*, à grandes roues, et sous lesquelles ils sont fortement suspendus.

Dans le commerce les bois prennent les dénominations suivantes :

*Bois en grume. — Bois équarris. — Bois de fente. — Bois de sciage.*

Les bois *en grume* sont ceux qui conservent leur écorce et sont vendus tels quels.

Les bois *équarris* sont dépourvus de leur écorce et d'une partie de leur aubier.

Les bois de *fente* sont obtenus à la hache dans la forêt. Ils servent pour les lattes, les douves de tonneaux, etc.

Les bois de *sciage* sont obtenus à l'aide de la scie après *équarissage*. Ce sont les plus employés dans l'industrie.

La consommation des bois, en France, dépasse de beaucoup la production des forêts dont la superficie totale est d'environ 9 105 000 hectares.

On importe dans une notable proportion des bois de diverses essences que le

territoire français ne produit pas, tels que les sapins de Russie et du Nord, les bois des Iles, les bois de construction, de Teak, de Pitchpin.

Il y a donc grand intérêt à préparer les bois de manière à en prolonger la durée. Cette condition s'impose encore quand l'on considère combien est lente la croissance du bois.

Le tableau ci-après indique pour les principales essences sylvestres, en France, le nombre de mètres cubes obtenus par hectare et par an :

| | | |
|---|---|---|
| Chêne. . . . . . . | 5 | mètres cubes. |
| Hêtre . . . . . . . | 6 | — |
| Charme . . . . . . | 6 | — |
| Sapin en montagne. | 3 | — |
| Saule, peuplier. | 6 | — |
| Aulne . . . . . . . | 10 | — |
| Sapin sur les côtes . | 10 | — |
| Pin maritime. . . . | 12 | — |

La conservation des bois s'obtient par la dessiccation et par l'élimination de la sève qui est un corps essentiellement putrescible.

La dessiccation se fait à l'air ou dans des étuves disposées à cet effet. L'élimination de la sève se fait, soit par carbonisation, soit par l'emploi d'agents antiseptiques dont on pénètre la sève ou qui la déplacent.

Les bois résistent beaucoup plus à la compression qu'à la flexion dans le sens parallèles aux fibres. C'est ainsi que le coefficient de résistance à la compression est de 6 à 8 kilogrammes par millimètre carré, tandis qu'il n'est que de 4 à 5 kilogrammes à la flexion. Dans le sens perpendiculaire aux fibres, le coefficient est de 1 kil. 250.

Le marché des bois en France est réparti dans les différents points du territoire, selon les essences.

Les bois de charpente se trouvent principalement : dans les ports de l'Aisne et de l'Oise, à Saint-Amand (Cher), Beaucaire, Bordeaux, Dunkerque, le Havre, Clamecy, Montréjeau, Moulins, Saint-Dizier, pour le chêne ; puis à Aubenas, Arbois, Beaucaire, Bordeaux, Pontarlier, Salins, Aubervilliers pour le sapin.

A Aubervilliers, se trouve les chantiers de pierres et de bois de la C[ie] des Entrepôts et Magasins généraux de Paris. Les chantiers reliés à la C[ie] du Nord par un réseau de voies ferrées, placés en bordure sur le canal Saint-Denis, disposent pour les bois notamment d'une superficie de 65 hectares sur lesquels il a été déposé en 1890, un tonnage moyen d'environ 130 000 tonnes, en essence de toutes sortes.

Ils présentent pour les entrepreneurs et les marchands de Paris, de très

grandes facilités pour la réception et la manutention des bois des provenances les plus diverses.

En dehors des provenances déjà citées, le chêne arrive aux Entrepôts, de Hongrie, du Caucase, du Canada, d'Amérique ; le frêne, du Caucase.

Le mouvement journalier, tant à l'entrée qu'à la sortie, représente une moyenne d'environ 400 tonnes.

Par suite de diverses conditions économiques, il a été monté une scierie mécanique dans ce chantier d'Aubervillers, sur la demande d'un groupe de marchands et d'entrepreneurs, pour le débitage des bois en grume, sous forme de madriers sur plat et sur champs et de lames de parquet.

La scierie d'Aubervillers occupe une superficie de 4000 mètres ; elle est actionnée par une machine à vapeur de 80 chevaux. Elle peut débiter journellement :

145 mètres superficiels à une épaisseur de moins de cinq ($0^m,05$) centimètres ;
105 décistères à une épaisseur de plus de ($0^m,05$) cinq centimètres ;
2400 mètres linéaires de madriers sur plat ;
3500 — — champ ;
3500 — de parquets (350 mètres superficiels) (chêne et sapin).

## § II. — PAVILLON DES EAUX ET FORÊTS AU TROCADÉRO

L'Administration des Eaux et Forêts occupait au Trocadéro un pavillon spécial d'une superficie de 4000 mètres environ, construit dans les conditions déjà indiquées (1).

Les divers services forestiers avaient groupé avec une entente remarquable les bois, les outils, les plans d'exploitation des forêts, de reboisement, d'aménagement des eaux, tout ce qui constitue l'industrie et l'art de la sylviculture.

Une série de plans en relief, des cartes, des tableaux faisaient ressortir l'importance des travaux de reboisement entrepris depuis 1860 dans les diverses régions montagneuses des Alpes et des Pyrénées.

Des territoires entiers ont été ainsi reconquis, tout en préservant les pays de plaines contre le retour de l'épouvantable fléau des inondations.

On remarquait, entre autres, les plans et dessins de la reconstitution des forêts dans les bassins ci-après :

Torrent de Voudaise ;
— de Beauchanal ;
— de Vachères près Embrun (Hautes-Alpes) ;
— de Grollay ;

1. Voir l'avant-propos.

— de Saint-Antoine;
— d'Arbouze;
— de Séchevon (Savoie).

Trois dioramas placés au fond de salles annexes, parfaitement éclairés, faisaient admirer par tous les visiteurs les entreprises hardies et fécondes de l'administration forestière.

Le torrent du Bourget dans la vallée de l'Ubaye (Hautes-Alpes) est aujourd'hui dompté au moyen d'une série de barrages et de clayonnages qui ont relevé le lit et arrêté le glissement des berges.

Il a été ainsi reconstitué 400 hectares de forêts. Les travaux ont duré 18 ans.

Le torrent de Riou-Bourdoux (Basses-Alpes), détruisait tout sur son passage par ses affouillements et par les dépôts de limon et de lave. La ville de Barcelonnette était menacée.

En 1875, on commença les travaux de captage. Aujourd'hui le sol est recouvert d'une jeune forêt qui le protège et le maintient. Le torrent a été retenu par un barrage colossal en maçonnerie et mortier hydraulique, de 83 mètres de longueur sur $8^{m},50$ de hauteur.

La *combe de Peguerre* retient une montagne qui menaçait Cauterets.

Des blocs énormes tombaient du sommet en couvrant de leurs débris les établissements de la Raillère et de Manhourat. Les sables ont été revêtus de mottes de gazon, et des murs de revêtement en pierres sèches ont fermé tous les vides menaçants; le danger est maintenant conjuré.

Ces résultats si remarquables font le plus grand honneur au service des Eaux et Forêts auquel incombe la défense d'une part si importante de notre propriété nationale.

L'Administration forestière se dispose à poursuivre très énergiquement ses travaux de reboisement et de gazonnement sur les massifs montagneux, notamment dans les bassins de la Garonne, de l'Ardèche, des Alpes Maritimes; de la Saône et de l'Ouvèze (Vaucluse). L'aménagement comprendra environ 101 000 hectares et entraînera une dépense d'environ 50 000 francs.

Dans une autre partie du pavillon figuraient les machines à débiter les bois de M. Arbey. Ces machines comprenaient deux scieries pour le débitage des bois en forêt, une scierie à abattre et à tronçonner les arbres avec action directe de la vapeur, à débiter des chevrons, voliges et lattes, des traverses de chemins de fer, planches et madriers, poutres, solives, etc., etc.

On remarquait du côté de l'escalier de droite qui conduisait à la galerie du premier étage des échantillons de parquets en bois teintés.

Dans la galerie du premier étage on avait réuni sur chaque panneau et dans les vitrines placées en avant les divers échantillons relatifs à chaque essence de bois. Nous ne relevons que ce qui a trait à la construction.

| | |
|---|---|
| Chêne. | Parquets, panneaux sculptés ; |
| Chêne liège. | Corps isolants, briquettes ; |
| Frêne. | Pieds de table ; |
| Buis. | Mètres ; |
| Pommier. | Mètres, parquets, pieds de table ; |
| Érable. | Imitation de bambou, pieds de table, règles ; |
| Sapin. | Moulures, perches, lattes ; |
| Épicea. | Conduits d'eau pour forêts ; |
| Pin. | Traverses de chemins de fer, charpente, pavés ; |
| Tuya. | Ébénisterie ; |
| Saule. | Objets tournés ; |
| Bouleau. | Échelles, etc. ; |
| Châtaignier. | Charrue, parquets ; |
| Hêtre. | Parquets, etc. ; |
| Noyer. | Meubles ; |
| Frêne. | Brancards ; |
| Poirier. | Ébénisterie ; |
| Cerisier. | Chaises ; |
| Aulne. | Tables. |

On remarquait les bois injectés par le procédé *Penières*. Ces bois veinés très diversement, étaient du plus bel effet.

On avait aussi exposé les différents systèmes employés pour la conservation des bois.

Sous l'action de l'air humide le bois s'altère plus ou moins rapidement suivant les essences. La sève se décompose. Il se forme de l'acide carbonique et de l'acide ulmique. Le bois se pourrit. Il faut donc rendre la sève imputrescible ou la chasser complètement.

Dans l'eau, le bois se conserve indéfiniment. Les bois abattus, quand la sève est en mouvement, s'altèrent plus rapidement par suite de la matière albuminoïde.

Il est important au point de vue économique de trouver un moyen de conserver les bois. Il y a pour cela divers procédés :

1° *Carbonisation.* — C'est le procédé le plus ancien, mais il donne beaucoup de pertes ;

2° *Vide et pression en vase clos.* — Ce procédé a été imaginé par Bréant et perfectionné par Béthel. L'appareil se compose d'un cylindre horizontal en tôle de plusieurs mètres de longueur. Dans cet appareil, on introduit les traverses au moyen de wagonnets. Le cylindre est ouvert à l'une de ses extrémités et fermé à l'autre au moyen d'un couvercle en fonte autour duquel des boulons sont fixés. Le cylindre peut être mis en communication avec un

réservoir à liquide antiseptique. Une pompe fait le vide, une autre comprime le liquide dans le cylindre. Les deux appareils sont actionnés par une machine à vapeur. Les traverses sont au préalable séchées dans une étuve à air chaud à 60° ou à 80°, pendant vingt-quatre heures au moins. On a soin de clore hermétiquement le cylindre dans lequel on fait le vide dont le degré est indiqué par un indicateur à mercure. Ensuite, on met le cylindre en communication avec le réservoir à liquide antiseptique ; on le comprime avec la deuxième pompe jusqu'à dix atmosphères, et cela jusqu'à absorption parfaite du liquide antiseptique par le bois. La durée totale de l'opération est de deux heures environ. Une traverse en hêtre absorbe 20 kilogrammes de créosote à 60°, ou $0^{k},725$ de sulfate de cuivre cristallisé.

3° *Procédé Blythe.* — Blythe a construit un appareil qui diminue l'absorption de la créosote, tout en donnant au bois un degré remarquable de conservation. On introduit dans les bois de 20 à 30 kilogrammes de créosote par mètre cube de bois (fig. 17).

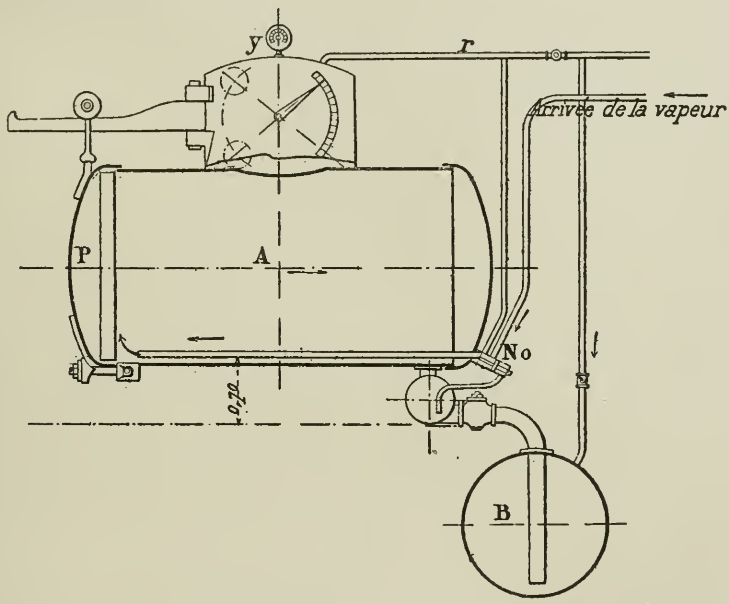



Fig. 17.

Il y a deux opérations bien distinctes :

*a* Traitement à la vapeur carburée ayant pout but d'extraire l'eau séveuse et l'humidité du bois tout en chargeant ses pores de la matière conservatrice.

*b* Injection d'une certaine quantité d'huile lourde pour les traverses de chemins de fer et les bois de construction pour travaux hydrauliques.

L'appareil se compose d'une ou plusieurs chambres surmontées de dômes. L'une des extrémités est mobile et permet l'introduction du bois ; on ferme ensuite la chambre.

Au-dessous de chaque chambre se trouve un récipient pour la matière employée à la production de la vapeur carburée. Un injecteur est actionné par un jet de vapeur surchauffée à la température de vaporisation de cette matière.

L'injecteur ou éjecteur aspire par un tuyau le liquide du récipient et les gaz ou vapeurs de la chambre. A la partie inférieure débouche la décharge de l'éjecteur dans un tuyau qui règne tout le long de la chambre. Un écran circulaire obstrue l'aspiration de l'éjecteur à son origine dans la chambre. Cet écran force les gaz et vapeurs à se diviser avant de revenir à l'injecteur. Par un branchement à robinet, les chambres peuvent être mises en communication avec une cuve contenant les matières antiseptiques employées pour l'injection complémentaire après le traitement par la vapeur carburée.

Voici comment on opère :

On charge de bois l'une des chambres de l'appareil et on la ferme. La matière destinée à la formation de la vapeur carburée est introduite dans le récipient. Par une manœuvre de robinet, l'éjecteur reçoit la vapeur d'eau surchauffée. L'éjecteur reçoit immédiatement, par un autre tuyau, une petite quantité de matière hydrocarburée. A son entrée dans l'éjecteur, cette matière se trouve chauffée par la vapeur entourant la tuyère d'arrivée. La vapeur surchauffée la divise ensuite et la vaporise à la sortie de la tuyère.

La matière hydrocarburée, mélangée à la vapeur d'eau est refoulée dans un tuyau placé horizontalement au fond de la chambre. Elle se joint aux vapeurs et aux gaz entraînés par le tuyau placé derrière l'écran circulaire.

Refoulées à l'extrémité de la chambre, les vapeurs sont aspirées à l'autre extrémité, après avoir été absorbées en partie par le bois. Elles repassent par l'éjecteur. Il se produit donc une circulation très active de vapeurs carburées à travers le bois à traiter. Au bout de 25 à 30 minutes, l'opération *a* est terminée.

Pour l'opération complémentaire *b*, on met en communication la chambre avec le réservoir par un robinet. La pression de la vapeur fait pénétrer le liquide dans la chambre. Par un tuyau aboutissant à la partie supérieure du dôme on fait arriver la vapeur de la chaudière. Il s'établit dans la chambre une pression égale à celle qui existe dans la chaudière. Cette pression facilite l'entrée du liquide dans le bois. Le flotteur indique la quantité de liquide absorbé.

Lorsque le flotteur du dôme indique que la chambre est pleine de liquide, on ferme le robinet.

On arrête la pression de la vapeur dès que l'absorption est suffisante. On laisse descendre le liquide qui reste, dans la cuve. Cette seconde opération dure 10 minutes environ.

Par le procédé Blythe, un mètre cube de bois, suivant qu'il est simplement carburé ou qu'il subit le bain supplémentaire, absorbe 30 kilogrammes à 120 kilogrammes de créosote.

Pour le pavage en bois, il est fait usage de cubes en pin des Landes préparé par l'un des procédés indiqués ci-dessus, ou par simple immersion suffisamment prolongée.

Nous avons dit que le liquide antiseptique était surtout la créosote ou huile lourde de houille. Elle doit être constituée par l'ensemble des produits volatils plus lourds que l'eau, retirés de la distillation du goudron de gaz.

Pour être bonne, la créosote entièrement liquide à la température de 40°, doit être totalement soluble dans la benzine. Elle devra contenir 6 % d'acide phénique et ne pas laisser déposer plus de 25 % de naphtaline à 15°. Sa densité sera de 0,50 à 15°.

Les procédés de conservation des bois varient selon l'emploi.

| | |
|---|---|
| Traverses de chemin de fer. | Vase clos, vapeur carburée. |
| Pavés en bois . . . . . | Trempage, vase clos, vapeur carburée. |
| Lames de parquet . . . . | Vapeur carburée. |
| Ébénisterie . . . . . . | Vapeur carburée. |
| Pilotis, grosses poutres . . | Vase clos, vapeur carburée. |

Dans ce dernier cas, la vapeur carburée est préférable. Le vase clos ne s'emploie que pour les bois abattus six mois à l'avance au moins, tandis que par le procédé Blythe on peut utiliser des bois de fraîche coupe, dès l'abatage.

*Incombustibilité des bois.* — En employant le sulfate de cuivre comme antiseptique, on remarque que les bois ainsi injectés deviennent moins inflammables.

## § 3. — EXPOSITIONS FORESTIÈRES DIVERSES

Outre le pavillon de l'Administration des Eaux et Forêts, on trouvait encore, dans l'enceinte de l'Exposition, de curieux spécimens des travaux en bois et des diverses essences qui se présentent dans la nature.

### I

M. Prunières, entrepreneur de constructions rustiques, à Sannois (Seine-et-Oise), avait construit un rendez-vous de chasse en bois rustique, dans l'une des parties du jardin du Trocadéro.

Ce pavillon était conçu dans des conditions très remarquables, comme disposition et comme construction.

### II

M. Rasawara, horticulteur à Tokio (Japon), avait reproduit, dans cette même partie du Trocadéro, un jardin japonais : clôtures, portails, kiosques en bambou entouraient une intéressante collection d'arbres nains centenaires.

## III

Le bois est très abondant et de bonne qnalité en *Indo-Chine.* Il pourra être exploité avec avantage lorsque les routes auront été percées.

Il faut citer comme propres à la construction, par leur dureté et leur grande durée, le thiedlind, le luivxand, le samnat, le toumat.

M. Foulhoux, architecte, chef du service des bâtiments civils en Cochinchine et M. Fabre, chef du service des travaux publics au Cambodge, avaient construit sur l'Esplanade des Invalides, un pavillon particulier pour chaque pays d'Extrême-Orient rattaché à la France : Cochinchine, Cambodge, Annam, Tonkin.

La charpente de ce pavillon attirait l'attention des spécialistes par sa hardiesse et sa simplicité.

## IV

L'Exposition *algérienne* renfermait de beaux échantillons de bois, entre autres un cèdre présentant jusqu'à $1^{m},60$ de diamètre.

Les Trappistes de Staouéli avaient des spécimens fort remarqués, notamment en bois d'eucalyptus.

M. L. Tardieu exposait des billes de choix : sycomore, acacia, thuya, santal, laurier, cèdre. Ces bois, très durs, prennent bien le vernis.

L'Administration forestière algérienne avait également réuni une belle collection qui attirait l'attention des industriels.

M. Meuser fils, de Constantine, avait envoyé des meubles en bois de cèdre de ton gai et clair.

La Compagnie des Chênes-Lièges de la petite Kabylie avait une exposition très intéressante, et qui dénote une exploitation d'une réelle importance, bien aménagée.

## V

Le Brésil renferme, dans ses immenses forêts, des bois très résistants : le palissandre, le perobe-revessa moucheté comme l'érable, d'un jaune clair, vif et brillant ; l'aranearia, dont le diamètre atteint 2 mètres, et la hauteur de 20 à 36 mètres.

## VI

M. Houbigant, ancien contrôleur pour la réception des bois à la Compagnie P.-L.-M., avait réuni une série d'échantillons de diverses essences, présentant les défauts des bois les mieux caractérisés. Ces spécimens formaient une collection très curieuse qui avait trouvé place dans l'exposition des chemins de fer.

## § 4. — PRODUITS EN LIÈGES AGGLOMÉRÉS, SYSTÈME GARNOT

M. Garnot, ingénieur des arts et manufactures, avait exposé, classe 63, des briques et carreaux faits en lièges agglomérés avec du mortier de chaux de Beffes. Il a obtenu une médaille de bronze. Ces produits sont excessivement légers. Ils servent d'isolants pour voitures, mansardes, cloisons légères, etc. Ils servent aussi de revêtements pour glacières et brasseries, et sont employés comme gaîne protectrice contre le froid pour les tuyaux et réservoirs d'eau chaude.

Les briques ont une coloration grisâtre; leur poids spécifique varie entre 250 et 350 kilogrammes le mètre cube. Elles pèsent donc environ six fois moins que la brique de Bourgogne, résistent à une température de 200°; elles peuvent se scier, se couper au couteau ou à la truelle avec la plus grande facilité.

Le ciment, le mortier, la terre glaise, le plâtre y adhèrent au plus haut degré, et forment avec ces matières un tout rigide et résistant.

Constitués en grande partie de liège, les matériaux ainsi fabriqués participent aux propriétés de ce corps, et sont comme lui :

1° mauvais conducteurs de la chaleur;

2° mauvais conducteurs du son;

3° d'une extrême légèreté;

4° difficilement inflammables;

5° imputrescibles.

En raison de ces propriétés, ces produits trouvent leur application dans les installations les plus variées.

Pour les glacières, par exemple, il a été constaté, dans des essais minutieux faits à Genève, que la substitution de la brique de *liège*, à la brique creuse ordinaire, réduit la perte de la glace dans le même espace de temps, de 195 à 82 % :

Pour la construction, toutes les fois qu'il s'agit d'établir un refend sans avoir à se préoccuper de la solidité du plancher; de garantir de la *chaleur* en été, du *froid* en hiver, dans une construction légère, telle qu'une mansarde; de se préserver de l'*humidité* dont tant de maisons sont imprégnées, ce qui les rend fort malsaines, sinon inhabitables ; d'éviter la *sonorité* si désagréable des planchers et des autres parties de nos constructions modernes; de transformer en un véritable refend préservant du *froid* et des bruits *extérieurs* une simple cloison; de préserver de la *gelée* tout appareil ou récipient contenant de l'eau; de garantir contre le refroissement les machines, les chaudières et les conduites de vapeur; de garantir *contre la chaleur dégagée* par certains tuyaux d'air chaud

ou de vapeur, les agglomérés de liège présentent une supériorité incontestable sur tous les corps isolants connus et employés jusqu'à ce jour.

Il reste à ajouter que les briques de liège peuvent parfaitement être employées en clôture sur des passerelles ou ponts légers. La surface extérieure reçoit alors un léger enduit, puis une ou deux couches de peinture. Dans cet état, le mur de liège résiste à l'action des mauvais temps.

La brique de liège agglomérée a une résistance de 6 kilogrammes par centimètre carré. Si elle est enduite avec du bitume, sa résistance peut aller jusqu'à 8 kilogrammes.

Le tableau ci-dessous fait ressortir son faible poids.

| DÉTAILS | BRIQUE DE BOURGOGNE | BRIQUE DE LIÈGE (Grand modèle) |
|---|---|---|
| Nombre de briques par m. carré à plat. | 38 | 30 |
| — — sur champ | 67 | 56 |
| — par mètre cube . . . | 600 | 450 |
| Poids des mille briques. . . . . . . . | 2.800 kilos. | 550 kilos. |
| — du mètre cube de briques. . . . | 1 800 — | 250 à 300 kilos. |

## § 5. — LIÈGES AGGLOMÉRÉS DE M. GIRARD DE VASSON

La Société *la Subérine*, à Paris, fabrique également avec les déchets de liège des produits susceptibles d'application dans les constructions, pour les hourdis des planchers et des plafonds, la construction des cloisons, étuves, glacières, etc.

Le liège est concassé, broyé et pulvérisé. Les poudres les plus fines, celles qui passent au tamis de 140 à 200 fils au pouce carré, sont utilisées dans la pharmacie comme véhicules d'agents antiseptiques ou comme succédanés du lycopode.

Les poudres 20, 60, 100 servent à produire, en s'amalgamant au plâtre, des staffs légers et résistant aux intempéries.

Les poudres les plus grossières et les déchets, agglomérés au plâtre, et séchés à l'étuve, donnent des carreaux et des briques.

On les associe encore au mortier de chaux ou de ciment pour la confection du béton.

# VII. — Asphaltes et Bitume

## § 1. — NOTIONS GÉNÉRALES

L'asphalte est un calcaire dur, imprégné naturellement de bitume, dans la proportion de 7 %. Le calcaire, séparé de son bitume, est parfaitement pur et blanc comme de la craie.

Le bitume se présente dans la nature, soit imprégnant le calcaire comme l'huile imprègne la mèche, soit mélangé à des sables fins ou molasses, soit enfin à l'état natif, surnageant à la surface des lacs, comme la mer asphaltique en Judée, ou les comblant tout à fait, comme on le voit dans l'île de Trinidad (Antilles).

L'asphalte se trouve dans la terre, sous forme de gisements réguliers, formés de plusieurs bancs superposés, séparés par des intervalles de calcaire blanc, non imprégnés. Il s'exploite à la poudre comme le moellon à bâtir.

On trouve du bitume à Bastennes (Landes), à Murindo, près Choco (Colombie), à Aniches (Nord).

Depuis plusieurs années, on emploie en France, avec le plus grand succès, pour couvrir les toits et les terrasses, pour faire les trottoirs, les chausseés, un mastic bitumeux que l'on prépare principalement avec les bitumes de Lobsann (Bas-Rhin), de Seyssel (Ain), et de Puy-de-la-Poix (Puy-de-Dôme).

Plusieurs sociétés se sont constituées pour l'exploitation des carrières d'asphaltes et des gisements de bitumes. Quelques-unes avaient envoyé des échantillons à l'Exposition de 1889, et parmi elles se distinguait surtout la Compagnie des Asphaltes de France.

## § 2. — COMPAGNIE GÉNÉRALE DES ALPHALTES DE FRANCE [1]

La Compagnie générale des Asphaltes de France exposait, classe 63, dans la Galerie des Machines, un spécimen d'asphalte en roche, de poudre et de mastic des mines de Seyssel, et de bitume naturel épuré pour travaux publics. Elle a remporté une médaille d'or dans la classe 41, où elle exposait ses méthodes d'extraction et ses produits bruts.

1. Voir la brochure de M. Malo, sur l'*Asphalte*. Baudry et C^ie^, éditeurs.

### I. — *Exploitation et préparation de l'asphalte.*

1° *Extraction.* — La Compagnie exploite les mines de Seyssel et de Pyrimont, dans le département de l'Ain (fig. 1, pl. 17,18). Nous donnons un croquis indiquant la situation géographique de ces centres d'exploitation. L'extraction se fait souterrainement. Elle peut se faire aussi à ciel ouvert. On procède comme s'il s'agissait de carrières de pierres de taille. On emploie la tarière pour percer les trous de mine. On ne se sert de la barre à mine que pour les parties stériles. On bourre avec de la poudre lorsqu'il s'agit de masses compactes, sèches et non fissurées. On emploie la dynamite dans les parties très humides.

Après explosion, les blocs sont transportés en dehors par des vagonnets, et empilés de manière à éviter leur écrasement sous l'action du soleil. La matière ainsi extraite est de l'asphalte. Elle se compose :

1° Carbonate de chaux;

2° Bitume.

Le carbonate est pour ainsi dire imprégné de ce bitume. Le bitume est un corps ternaire dont la composition chimique est la suivante :

$$\begin{aligned} C &= 87{,}00 \\ A &= 11{,}28 \\ O &= \ \ 1{,}80 \\ \hline & \ 100{,}00 \end{aligned}$$

L'asphalte a l'aspect d'une roche tendre l'été, dure l'hiver. Texture à grains fins, couleur chocolat ; à 60° elle se laisse écraser entre les doigts ; exposée au soleil, elle ne tarde pas à tomber en poussière ; cassure grenue et irrégulière ; poids spécifique moyen : 2,235. Examinée au microscope, elle a l'aspect d'une multitude de grains enveloppés chacun d'une pellicule de bitume.

2° *Pulvérisation et tamisage.* — Une fois en tas, le minerai passe dans un concasseur formé de deux cylindres laminoirs armés de dents et animés de vitesses différentes. La matière est déchirée. Elle se trouve alors réduite à peu près au volume des cailloux servant au macadam des routes.

Le minerai passe ensuite au pulvérisateur, qui est un broyeur à force centrifuge. On emploie le broyeur *Carr*. Diamètre : $1^m,30$ ; vitesse, 500 tours par minute ; production : 6 tonnes d'asphalte à l'heure ; force : 40 à 50 chevaux.

On procède ensuite à un tamisage. Cette opération se fait dans des blutoirs tronconiques de 2 mètres de long, ayant $1^m,50$ au gros diamètre, et $0^m,80$ au petit. Une chaîne à godets ramène dans le broyeur les particules qui n'ont pu traverser les mailles du blutoir. La maille de la toile métallique qui l'environne doit avoir, au plus, 2 à 2 millimètres 1/2 de vide.

3° *Cuisson.* — Des blutoirs, la poudre passe aux chaudières où s'opère la cuisson du mastic. Les chaudières, en tôle ou en fonte, sont demi-cylindriques, de

3 mètres de longueur sur 1 mètre de diamètre (fig. 2, pl. 17, 18). Elles sont montées sur des fourneaux ordinaires en briques. Dans l'axe du cylindre se trouve fixé un arbre. Cet arbre porte des lames dirigées dans le sens du rayon; les lames, lors de la rotation de l'arbre, agitent la pâte, et en mettent successivement toutes les parties en contact avec la surface de chauffe. Chaque appareil est surmonté d'un couvercle en tôle, demi-cylindrique, muni de portes qu'on soulève de temps en temps pour surveiller la marche de l'opération. Des tuyaux de dégagement sont adaptés au-dessus du dôme pour écouler les vapeurs d'eau qui s'échappent abondamment.

On jette d'abord dans chaque chaudière 140 à 150 kilogrammes de bitume libre chauffé à une température de 150° environ. On jette dans ce bain par pelletés, la poudre d'asphalte. La poudre mise au contact du bitume, décrépite et se mélange intimement avec lui. Le bitume achève de pénétrer le calcaire. On ajoute peu à peu la poudre de manière à bien permettre le mélange intime.

Quand le mélange devient pâteux on arrête la trituration.

L'appareil a reçu :

250 kilogrammes de bitume libre;

3500 kilogrammes de poudre d'asphalte;

Il s'échappe : 340 kilogrammes de vapeur d'eau;

10 kilogrammes d'huiles essentielles.

Il reste dans la chaudière 3500 kilogrammes de mastic.

4° *Coulée.*—On recueille le mastic dans des seilles en tôle. La contenance de ces seilles est d'environ 25 kilogrammes. On verse ensuite le liquide dans des moules. Ces moules sont composés de plaques en fer recourbées de 0,010 à 0,012 millimètres d'épaisseur, de façon que deux plaques juxtaposées forment un moule cylindrique de $0^m,14$ de hauteur et $0^m,32$ de diamètre. On enduit, au préalable, le moule d'argile délayée dans de l'eau pour empêcher l'adhérence du mastic au fer. Les moules sont rangés sur une plateforme parfaitement horizontale, dallée de plaques en fonte.

Au bout de quatre à cinq heures les pains commencent à se refroidir et à se solidifier. On asperge d'eau froide pour achever le refroidissement et on démoule en frappant un léger coup de masse sur chacune des plaques de tôle. On pèse la coulée et on l'empile pour la livraison. Chaque pain pèse environ 25 kilogrammes. C'est la quantité de mastic qui entre dans un mètre carré de trottoir à 15 millimètres d'épaisseur, non compris le poids du gravier. Dans une fabrication bien montée et bien dirigée, les coulées ne doivent pas varier de plus de deux ou trois degrés de température. Cette régularité est une des conditions essentielles de la bonne qualité du mastic.

5° *Préparation du bitume entrant dans la composition du mastic.* — Le bitume dont on se sert pour la fabrication du mastic d'asphalte doit avoir

la plus grande analogie possible avec celui qui imprime le calcaire asphaltique

On extrait ce bitume de certains amas de sable ou *molasses* agglutinées par du bitume; les molasses se trouvent aux environs des mines d'asphalte. On lave la gangue à l'eau bouillante, le bitume se détache et vient surnager à la surface. On recuit les écumes pour en extraire l'eau et le sable entraîné par l'ébullition, on obtient par décantation un bitume presque pur. Les blocs de minerai ainsi employés contiennent de 70 à 75 % de bitume. Quand les grains de sable sont très fins, il faut procéder à une seconde décantation par ébullition. Le bitume obtenu est absolument pur, mais malgré tout, le sable qui reste au fond de la chaudière contient encore un volume de bitume égal au sien.

Le bitume vient aussi d'immenses lacs de bitume desséché et terreux de certaines contrées de l'Amérique. Ce bitume a une couleur rougeâtre analogue à celle du minerai de fer; jusqu'à 20 ou 25°, il est solide et a une cassure conchoïde. Sa densité, à l'état de pureté, est un peu supérieure à celle de l'eau. Quand il est impur, sa densité s'élève jusqu'à 1,3. On le trouve ordinairement mélangé à des débris de plantes qui s'y trouvent parfaitement conservées.

A son arrivée en France, on dissout ce bitume dans un produit goudronneux obtenu dans la distillation des schistes bitumineux, un produit de seconde distillation. On met 300 à 350 kilogrammes de ce goudron dans une chaudière de 1200 litres environ ; on chauffe à 120° ; on projette le bitume de Trinidad par petites doses, en morceaux de la grosseur d'un œuf. On attend que chaque dose soit entièrement fondue avant d'ajouter la suivante; on s'arrête lorsque le poids du bitume projeté atteint 850 à 900 kilogrammes. Lorsque tous les morceaux sont presque fondus, le liquide mousse et monte ; on brasse énergiquement afin d'empêcher la mousse de déborder. Des hausses en tôle sont adaptées aux rebords de la chaudière afin de maintenir cette mousse. Au bout de sept ou huit heures, l'ébullition s'arrête, le niveau descend, on supprime le feu, et on décante en faisant traverser au bitume un tamis en toile métallique qui retient les matières étrangères. Ce bitume est moins beau de couleur, file moins, et est plus opaque que celui des molasses. Le bitume brut de Trinidad, tel qu'il arrive de l'île, a la composition suivante :

| | |
|---|---|
| Bitume. . . . . . . . | 34 |
| Eau . . . . . . . . . | 30 |
| Argile. . . . . . . . | 36 |

L'opération du raffinage donne de son côté les chiffres suivants :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Matières employées | Bitume brut de Trinidad . . . . . . . | 900 | kilogs. |
| | Goudron de schiste . . . . . . . . . | 400 | — |
| Produits | Bitume épuré . . . . . . . . . . . . | 950 | — |
| | Dépôt . . . . . . . . . . . . . . | 70 | — |
| | Évaporation. . . . . . . . . . . . . | 280 | — |

Des matières argileuses contenues dans le bitume brut, une partie seulement est précipitée par décantation. La plus grande partie de ces matières se compose d'argile tellement fine qu'il est impossible de la séparer pratiquement. Le bitume de Trinidad épuré renferme encore 25 % d'argile impalpable, inoffensive dans les travaux d'application.

La proportion de goudron de schiste à introduire dans le bitume de Trinidad varie avec le genre des travaux qu'on veut faire.

Le bon bitume a une couleur d'un noir foncé avec reflets rougeâtres : Cassure conchoïde. Consistance solide au-dessous de 10°, élastique entre 10 et 20°, pâteuse entre 20 et 30°, visqueuse entre 30 et 40°, liquide entre 40 et 50°. Odeur aromatique et caractéristique.

### II. — *Construction des chaussées en asphalte comprimé.*

Si l'on porte l'asphalte à une température de 100°, le bitume se ramollit, les grains de calcaire se désagrègent, et la roche tombe en poussière.

Si, pendant que cette poussière est encore chaude, on la comprime dans un moule, les molécules se réunissent les unes aux autres, et la matière reprend, par le refroidissement, mais sous la nouvelle forme qu'on lui a donnée, l'aspect, la dureté, et en général toutes les propriétés que la roche possédait au sortir de son gisement.

Si l'on étend la poudre chaude sur un sol résistant, en donnant à la couche une épaisseur de quelques centimètres, et si l'on comprime cette couche au pilon ou au rouleau, on obtient lorsqu'elle est refroidie, une croûte monolithe semblable à la roche primitive.

1° *Broyage de la roche.* — La roche est broyée au broyeur Carr après avoir passé en premier lieu dans des broyeurs composés d'une première paire de laminoirs à dents qui divisent la roche en morceaux de la grosseur d'un œuf. On obtient une poudre très fine. On tamise cette poudre.

La poudre ramassée dans les tamis est élevée par une chaîne à godets dans les réchauffeurs.

2° *Chauffage.* — La poudre recueillie sous les tamis est ensuite chauffée (fig. 3, pl. 17, 18). L'appareil employé aujourd'hui est un cylindre mobile de 2 mètres de diamètre et de 2 mètres de longueur. Sa double enveloppe fixe porte une cheminée en tôle, disposée de façon que l'air chaud envoyé par le foyer n'y parvient qu'après avoir léché toute la surface extérieure de ce cylindre. Le foyer, qu'on place immédiatement sous le cylindre, est mobile. Il peut rouler sur rails et s'effacer latéralement de manière à laisser libre la partie inférieure du cylindre. Le cylindre mobile est monté sur un arbre central. Les extrémités de cet arbre tournent dans des paliers qui s'appuient sur l'enveloppe fixe. Cette enveloppe est portée par quatre

pieds robustes ; elle est indépendante du foyer. La poudre est introduite dans le cylindre par une trémie. Cette trémie est placée vis-à-vis d'un trou central formant vide annulaire autour de l'arbre. La poudre tombe dans le cylindre. Ce dernier est animé d'un mouvement très lent. Des lames intérieures fixées selon les génératrices ramassent cette poudre, la remontent un peu plus haut que le diamètre horizontal du cylindre. Cette poudre retombe alors en pluie dans l'air chaud qui remplit le cylindre. Elle est donc chauffée d'abord par son contact avec la paroi métallique, ensuite par l'air chaud dans lequel s'effectue sa chute. Le mouvement du cylindre est régulier. La poudre ne séjourne sur les lames qu'un temps déterminé et, lorsque l'opération est terminée, elle sort de l'appareil à une température uniforme.

L'appareil est muni d'un marteau qui, actionné par le cylindre, frappe sur le milieu de ce cylindre et en détache, à chaque sixième ou huitième de tour, les petits amas de poudre susceptibles de brûler. Ces appareils chauffent à 130 ou 140°, environ 1 200 kilogrammes de poudre en une heure.

Lorsque la poudre est suffisamment chaude, on déplace le foyer, et on amène le tombereau : une porte pratiquée sur la périphérie du cylindre permet l'évacuation de la poudre. Puis on recommence.

3° *Transport de la poudre chaude.*– La poudre est chargée dans des tombereaux à parois métalliques. Ce tombereau est recouvert d'une bâche imperméable. La poudre peut-être conduite à plus de 10 kilomètres sans que sa température baisse de plus trois ou quatre degrés.

4° *Répandage et compression.* — Le tombereau s'approche le plus possible de l'atelier. On verse le mélange dans les brouettes qui desservent cet atelier. On étend la couche et on égalise avec un râteau. Il faut maintenir dans chaque partie de la couche un poids spécifique uniforme.

L'asphalte est posée sur un béton de ciment de $0^{m},15$ à $0^{m},20$ d'épaisseur. Le sol sur lequel le béton est coulé, est damé de manière à devenir incompressible. Il faut avoir soin de laisser sécher le béton avant de mettre l'asphalte, environ 5 ou 10 jours si le béton est fait avec du ciment, L'épaisseur de l'asphalte posée est de 6 à 7 centimètres, elle est réduite à 4 ou 5 après pilonnage.

5° *Pilonnage.* — On recommence le pilonnage par les bords, c'est-à-dire par les points où la croûte est en contact avec les bordures des trottoirs. On se sert de pilons en fer rectangulaires, longs de 20 à 25 centimètres et larges de 5 à 6. Lorsque les joints sont faits, on procède au pilonnage de la masse. On emploie alors des pilons en fonte de forme circulaire de $0^{m},20$ de diamètre. On a soin de chauffer la masse des pilons.

On recouvre ensuite la croûte, avec un tamis, de poudre très fine, qui remplit toutes les inégalités laissées par le pilonnage, et on lisse toute la surface avec un morceau de fer plat emmanché et chauffé au rouge naissant.

6° *Roulage.*— On complète la compression en faisant passer sur la croûte asphaltique encore chaude deux rouleaux en fonte, l'un de 200, et l'autre de 1.500 kilos. Quelquefois on en emploie trois. Le rouleau intermédiaire, dans ce cas, pèse de 7 à 800 kilogrammes.

Le chantier comprend un chef, des *pilonneurs*, des *rouleurs*, des *lisseurs* et des *sableurs*.

La chaussée peut être livrée aux voitures quelques heures après le roulage. Cette opération suit le dernier étendage à moins d'une demi-heure d'intervalle.

L'entretien des chaussées exige les mêmes dispositions, on a soin de chauffer les bords de la partie conservée de façon à obtenir une soudure parfaite.

7° *Prix d'une chaussée en asphalte comprimé.*

| | |
|---|---|
| Asphalte de 0,05 d'épaisseur posé sur béton de ciment de Portland et de 0,15 d'épaisseur, le mètre superficiel . | 19fr,50 |
| Entretien à forfait des surfaces asphaltées le mètre carré, par an . . . . . . . . . . . . . . . . | 2 » |

8° *Qualités.* — Ces sortes de chaussées sont éminemment hygiéniques, ne produisent ni boue, ni poussière, sont insonores et diminuent d'une manière très notable le tirage des chevaux; elle réduisent les frais d'entretien des voitures.

L'usure annuelle varie de 1 à 5 millimètres par an, selon la fatigue de la chaussée.

## III. — *Construction des trottoirs en mastic d'asphalte.*

Pour la construction des trottoirs on se sert d'un mastic préparé dans des moules.

1° *Disposition de l'aire.* — Après dressage, on place une couche de béton de 5 ou 10 centimètres d'épaisseur, sur laquelle on pose une couche de mortier de $0^{m},01$ environ. Si l'assiette de la chaudière est en remblai, on pilonne jusqu'à refus, en donnant à la couche de béton 8 à 9 centimètres d'épaisseur.

2° *Préparation de la matière.* — On fait fondre le mastic d'avance, dans des usines spéciales, et on le sable de manière à ce qu'il soit tout prêt à être employé. On se sert d'appareils analogues à ceux de la fabrication. On amène auprès des chaudières fixes, d'autres chaudières montées sur roues. Sous chaque locomobile est adapté un foyer dont la porte est située à l'arrière de l'équipage. La flamme du foyer suit les deux côtés de la chaudière et vient sortir dans une cheminée en tôle. Sur un arbre se trouvent montés des agitateurs commandés par une vis sans fin et une manivelle à main. Ils servent à mettre la matière en mouvement pour l'empêcher de s'attacher aux surfaces de chauffe et de brûler. Un brancard est fixé à cette machine pour atteler un cheval.

Pendant le trajet de l'usine au chantier le foyer est allumé, et de temps en temps, le conducteur donne quelques tours de manivelle et fait mouvoir les agitateurs.

A l'arrivée, la locomobile est vidée par un tuyau situé à la partie inférieure. Le mastic est recueilli dans un seau. On a adapté aux locomobiles une caisse en tôle placée sur la chaudière dans laquelle on place le vieil asphalte retiré des trottoirs et destiné à être refondu.

3° *Mode de pose.* — On sèche le sol, s'il est humide, soit en projetant des cendres chaudes qu'on enlève ensuite, soit en répandant de la chaux hydraulique en poudre.

On étend sur le sol deux règles plates en fer, ayant l'épaisseur que devra avoir la couche asphaltique. Ces deux règles sont placées parallèlement à une distance l'une de l'autre égale à la largeur de la bande à couler. On apporte le mastic dans un pochon et on le verse. Avec une *spatule* en bois, on étend la couche en la réduisant à l'épaisseur voulue. Lorsque la bande est faite, on enlève une des règles et on la transporte parallèlement à elle-même de la largeur d'une seconde bande.

Les bandes ont généralement de $0^{m},70$ à $0^{m},80$.

L'épaisseur est de 15 millimètres.

Le mastic doit être assez pâteux au moment de son emploi pour présenter une certaine résistance à la spatule. A cet effet on fait une addition de gravier.

Un bon trottoir en bitume doit avoir la composition suivante :

| | |
|---|---|
| Mastic de Seyssel. . . . . . | 25 kil. |
| Bitume libre . . , . . . . . . | 1kil.500 |
| Gravier . . . . . . . . . . . | 13 kil. |

Pour les réparations, comme dans les chaussées en asphalte comprimé, on a soin de réchauffer les lisières des bandes laissées intactes afin d'établir une soudure invisible avec la nouvelle bande.

Pour le raccordement du trottoir avec la chaussée, on fait un solin, en refouillant la muraille et en faisant refluer l'asphate dans le refouillement.

Pour la bordure, on pratique une simple feuillure où vient s'appuyer la couche d'asphalte. On a soin de réchauffer la pierre afin que le mastic s'étende bien dessus.

Cette opération se fait en versant du mastic chaud qu'on enlève ensuite. De même pour la soudure avec les gargouilles, etc.

On sable ensuite, quand l'asphalte est encore chaud, avec du gravier très fin que l'on fait pénétrer dans la masse en le frappant fortement et uniformément avec une batte. On évite ainsi que le mastic ne se ramollisse au soleil et ne s'use rapidement.

On peut remplacer le sable par de l'ardoise pilée. On obtient par lissage des surfaces ayant la couleur, le grain et le poli de l'ardoise.

## IV. — *Construction des terrasses en mastic d'asphalte.*

1° *Terrasse sur maçonnerie.* — Pour les terrasses sur *assiette rigide*, on dresse la surface avec du mortier de chaux hydralique, en réservant une pente supérieure à $0^m,02$ par mètre et inférieure à $0^m,05$. Si la terrasse se trouve sur des voûtes, on remplit l'espace compris entre les reins avec du gravier, ou, s'il y a lieu, on fait à cet endroit des voûtes en décharge.

On arase au niveau des clefs, et on met une épaisseur de béton, sur lequel viendra reposer le mortier. Sur ce dernier, bien sec, on met une couche d'asphalte gras. Cette couche a environ $0^m,005$ à $0^m,008$ d'épaisseur. Voici sa composition :

| | | |
|---|---|---|
| Par mètre carré | Mastic ordinaire de Seyssel. . . . . . | $7^k,400$ |
| | Bitume libre . . . . . . . . . . . . | 0 ,600 |
| | Gravier fin de rivière bien lavé . . . . | 5 |

Sur cette couche refroidie, on en met une autre de $0^m,012$ à $0^m,01$ en mastic sec. Ce mastic est très chargé de gravier et granité en sable blanc.

2° *Terrasses sur charpente.* — Pour éviter les déformations dans la couche d'asphalte, il faut que la charpente soit très rigide. On la recouvre d'un plancher très résistant. On coule un lit de béton. Ce béton doit avoir une épaisseur de 5 à 6 centimètres. On l'arrose avec un enduit en mortier de chaux hydraulique. On opère ensuite comme pour les autres terrasses. Il est bon de recouvrir la couche asphaltique d'un léger dallage en briques, pour préserver le mastic qu'on est obligé d'employer gras afin de lui donner l'élasticité nécessaire pour résister aux variations de température.

## V. — *Toitures en Asphalte.*

Les toitures en asphalte sont peu pratiques à cause de la trop faible pente qu'il faut leur donner ; mais l'asphalte étant incombustible, rend les chances d'incendie plus rares. On fait un voligeage jointif. On étale et fixe du papier gris pour empêcher l'adhérence ; on coule l'asphalte sur une épaisseur de 12 millimètres. La pente ne doit pas dépasser 20 à 30 millimètres par mètre. On saupoudre de sable blanc qui combat l'action des rayons solaires. La direction des joints d'asphalte doit être perpendiculaire à celle des joints de la volige, pour éviter que l'asphalte ne se fende dans le sens de ces joints. Il est bon de passer 2 couches. Le poids de cet asphalte est de 45 kilogrammes par mètre carré.

## VI. — *Planchers en asphalte.*

On peut recouvrir les planches d'une couche d'asphalte. On procède comme pour les trottoirs.

### VII. — *Dallages des écuries en asphalte.*

On procède comme pour les trottoirs. Les stries se font sur l'asphalte encore chaud, au moyen de fers semblables aux moules à gaufres, ou avec un rouleau sur lequel les stries sont en relief.

### VIII. — *Fondations de maisons humides.*

Si la maison *n'est pas construite*, on interpose entre deux assises, à quelques centimètres du sol une couche mince de mastic gras.

Si la maison, dont les fondations sont humides, est *déjà construite*, on creuse autour des fondations, et on fait une ceinture de planches distantes de la maçonnerie de 7 à 8 centimètres. On coule dans l'intervalle un béton chaud composé de mastic d'asphalte et de gros graviers. On remblaie, après avoir enlevé les planches.

### IX. — *Chapes.*

1° *Chapes de ponts et tunnels.* — Les chapes se font en mastic gras. On les recouvre d'un lit de terre glaise de 5 à 6 centimètres d'épaisseur. Les cailloux du remblai ne peuvent ainsi les déformer. L'extrados des voûtes est revêtu d'un lit de mortier qu'on laisse suffisamment sécher (fig. 4, pl. 17, 18).

2° *Chape des fortifications.* — Dans la construction des forteresses, le mastic doit être très gras pour conserver son élasticité.

### X. — *Silos.*

Dans la construction des silos, on coule au fond de l'excavation du béton sur 40 centimètres. On y applique du mastic gras. Les murs sont en briques, hourdées en asphalte liquide. Entre les murs et la terre, on laisse un espace vide de 4 à 5 centimètres que l'on remplit avec un mélange de cailloux et d'asphalte (fig. 5, pl. 17, 18).

Dans le cas d'un terrain mobile, on construit derrière le mur de briques un mur de soutènement en maçonnerie ordinaire, en laissant entre eux un vide de 20 à 30 milimètres. Ce vide est rempli avec de l'asphalte très gras.

La voûte est en briques hourdées en asphalte. On pose dessus une chape ordinaire. La dalle de fermeture est scellée à l'asphalte.

### X. — *Fondations maritimes.*

Le mastic étant inattaquable par l'eau de mer, on peut en faire des blocs artificiels que l'on emploie comme les blocs de béton pour les ports. Pour plus d'économie, on fait des blocs mixtes. Le *noyau* est en maçonnerie de *chaux grasse.*

L'*enveloppe* est en *béton d'asphalte* de $0^m,15$, en moyenne, le tout donnant un cube de neuf mètres. On fait une plate-forme en madriers soutenus par des solives reposant sur le sol. On monte un châssis à mouler et on forme une caisse cubant neuf mètres. Au fond de cette caisse, on dispose en quinconce à $0^m,50$ les uns des autres, des moellons à longue queue. Ces moellons sont piqués sur une de leurs faces ; ils reposent sur cette face. On coule le béton d'asphalte dans l'intervalle des pierres. On pilonne avec des dames en fer de $0^m,08$ de côté, pesant environ 10 kilogrammes. On forme ainsi dans les intervalles des moellons une couche d'asphalte de $0^m,15$ d'épaisseur. On répand de gros cailloux cassés que l'on dame fortement et que l'on fait pénétrer à mi-épaisseur du mastic.

Après refroidissement, on enlève les quatre ais du moule. On monte le noyau. Sur la couche de béton d'asphalte, on construit un bloc en maçonnerie de médiocre qualité ayant les dimensions du bloc futur, moins $0^m,15$ sur chaque face. Les parements de ce noyau sont abruptes et irréguliers, les joints dégradés. On brosse le noyau avec soin et on remonte les quatre ais, après séchage du noyau. Dans le vide entre les ais et le noyau, on coule du béton d'asphalte jusqu'au dessus du moule. Au-dessus du noyau et jusqu'à l'extrémité supérieure du moule, on coule du béton d'asphalte. Le noyau est donc enveloppé de toutes parts d'une couche d'asphalte de $0^m,15$.

Le béton d'asphalte s'obtient ainsi : on fait chauffer 100 kilogrammes de mastic dans une chaudière, puis on y jette 50 kilogrammes de pierres cassées ou de galets de la grosseur d'un œuf. On brasse. Le mélange comprend :

| | | |
|---|---|---|
| Bitume pur. . . . . . . . | 5 | kilogrammes |
| Mastic d'asphalte. . . . . | 95 | — |
| Pierres cassées ou galets. . . | 120 | — |
| Total. . . . . | 220 | kilogrammes |

Une demi-heure après complet rechange, le béton est prêt à être coulé.

Lorsque les blocs sont faits en béton d'asphalte seul, on remplit le moule entièrement avec ce béton. Au bout de dix jours, on démoule et on peut mettre le bloc à la mer. Les dimensions de ces blocs sont de

$$1^m,50 + 1^m,50 + 2^m,00.$$

Le prix de revient d'un bloc mixte peut s'évaluer ainsi :

*Noyau.* — Maçonnerie de chaux grasse et de moellons bruts, $6^{m^3},500$ à 21 francs. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 136 fr. 50

*Enveloppe.* — Béton d'asphalte, fourniture et main d'œuvre, $3^{m^3},500$, à 125 fr. 40. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 438 90

Prix de revient total, abstraction faite de tous frais généraux, bénéfices, etc. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 575 40

Soit 64 francs le mètre cube.

## XII. — *Dalles mobiles en asphalte coulé.*

On peut faire des dalles en asphalte coulé. On leur donne $0^{m},015$ d'épaisseur. Elles mesurent chacune exactement un tiers ou un quart de mètre. Elles sont toutes coulées dans le même moule. Elles portent sur leur pourtour un biseau qui permet de rapprocher la partie inférieure en laissant entre les bords supérieurs l'espace nécessaire pour la soudure.

La pose se fait comme pour les carreaux ordinaires. On fait une forme en mortier. Les dalles sont posées d'aplomb, les unes à côté des autres. L'aplomb s'obtient en chauffant la dalle, ce qui permet de lui faire épouser la forme du sol.

L'épaisseur des dalles peut aller jusqu'à $0^{m},045$.

## XIII. — *Fondations* (1).

On peut faire des fondations de machines, de marteaux pilons, etc., en asphalte coulé. On se sert de moules à béton ordinaire. On emploie des moellons de toutes grosseurs. On procède par plusieurs assises s'enchevêtrant l'une dans l'autre. On coule le mastic dans les intervalles des moellons. Il faut un certain temps pour laisser refroidir la masse avant de démouler. Pour que la chaleur de la machine ne ramolisse pas la couche d'asphalte, on interpose une couche de ciment (fig. 6, pl. 17, 18).

On peut se servir aussi d'asphalte comprimé; seulement, il faut qu'il reste encaissé sur cinq faces, la sixième restant libre pour recevoir la machine.

On combine quelque fois les deux systèmes. L'asphalte comprimé sert de couche inférieure sur laquelle on monte le bloc en mastic.

## XIV. — *Résistance du béton bitumineux à l'écrasement.*

Un cube d'un décimètre fait en maçonnerie asphaltique, exposé au grand seleil, ne se déformera pas de lui-même, mais s'écrasera sous une charge relativement faible.

Maintenu entre 10° et 12° et au dessous, il résistera comme les matériaux ordinaires. Ainsi un mélange de mastic d'asphalte de Seyssel et de cailloux cassés ne s'écrase que sous une charge de 3 à 400 kilogrammes par centimètre carré; la rupture se produit comme dans les matières plastiques; la matière se

1. Voir note de M. Anthoni. *Compte rendu des travaux de la Société des Ingénieurs civils*, 1889.

fend et les fragments restent encore adhérents les uns aux autres. La résistance est d'autant plus grande que la matière a eu une température de cuisson plus élevée. Pour des fondations de machines, où il faut surtout de l'élasticité, cette température doit être de 225 à 230°; pour des soubassements d'édifices, on peut la pousser jusqu'à 250 et même 270°.

## XV. — *Dosage du bitume.*

Pour doser le bitume, on met un fragment de roche asphaltique dans un tube d'essai avec du sulfure de carbone. Le sulfure absorbe le bitume. On décante. Le poids du liquide égale celui du bitume, plus celui du sulfure de carbone. On évapore le sulfure de carbone, le poids du corps restant est celui du bitume.

## XVI. — *Action de la chaleur sur le bitume.*

Le bitume perd lentement de son poids sous l'action de la chaleur. Il tombe, après ramollissement, à l'état de charbon insoluble dans la benzine. La chaleur ramollit l'asphalte, mais son action est moins forte si cette matière est plus comprimé. Il faut donc que l'assiette de l'asphalte soit rigide.

Pour les trottoirs en bitume, on se sert comme assise d'un béton composé d'une partie de sable, de deux parties de cailloux et d'une quantité variable de chaux hydraulique ou de ciment.

Pour les chaussées en asphalte comprimé, on prend de préférence un béton de ciment de Portland qui jouit d'une imperméabilité presque complète.

## XVII. — *Analyse de l'asphalte de Seyssel.*

D'après l'analyse faite au laboratoire de l'Ecole des Ponts et Chaussées, l'asphalte de Seyssel a la composition suivante :

| | |
|---|---|
| Eau perdue à l'étuve à 90°. . . . . . . . . . | 1.90 |
| Produits solubles dans le sulfure de carbone (bitume) | 8.00 |
| Matières minérales insolubles dans les acides. . . | » 10 |
| Alumine et peroxyde de fer . . . . . . . . . | » 15 |
| Carbonate de chaux. . . . . . . . . . . . . | 89.55 |
| Carbonate de magnésie . . . . . . . . . . | » 10 |
| Produits non dosés et perte . . . . . . . . . | » 20 |
| | 100.00 |

# VIII. — Sables

## § I. — NOTIONS GÉNÉRALES ET DÉFINITIONS

On désigne, sous le nom de *sable*, les fragments de rochers réduits en particules très petites et parmi lesquels domine la silice.

Outre les sables qu'on trouve sur les bords de la mer et dans les lits des rivières, il est des sables *fossiles* apportés par les eaux dans les grandes révolutions du globe et abandonnés par elles, et des sables *arènes* qui n'ont pas été charriés et qui résultent de la décomposition spontanée de certaines roches arénacées, feldspathiques ou argileuses.

Les sables sont généralement blancs, gris, jaunes, rouges ou verts ; ces colorations sont dues à la présence d'oxydes métalliques.

Le grain des sables de rivière est moins anguleux que celui des sables fossiles ou de plaine.

Comme les roches d'où ils proviennent, les sables se divisent en *sables calcaires* et *sables siliceux*.

Les *graviers* sont des sables dont les grains plus ou moins réguliers ont la grosseur d'une lentille ou d'un petit pois.

On donne le nom de *sables* proprement dits à ceux dont les grains sont très petits, sphériques et réguliers.

Les *arènes* sont des sables de dimensions moyennes ; ils sont remarquables en ce sens qu'ils jouent le rôle de pouzzolanes naturelles vis-à-vis la chaux grasse avec laquelle ils forment des mortiers hydrauliques.

Les sables *siliceux* sont préférables, lorsqu'on veut faire des mortiers, parce que la silice qu'ils contiennent fixe la chaux libre qui se forme lorsque le mortier est mis au contact de l'eau, et empêche ainsi la destruction des ouvrages que cette chaux amènerait infailliblement si elle restait libre.

Les sables s'emploient dans les constructions pour former des mortiers, pour établir le lit et remplir les interstices des pavés, et asseoir les fondations ; ils servent au balastage des chemins de fer. Ils servent au polissage des glaces, à la fabrication de briques blanches de sable usé des fabriques de glaces et à la fabrication du sablier mortier coloré.

Voici les différents poids du mètre cube des divers sables employés :

| | | |
|---|---|---|
| Sable fin et sec............. | 1,400 à 1430 | kilogrammes |
| Sable fin et humide......... | 1,900 | — |
| Sable fossile argileux........ | 1,710 à 1,800 | — |
| Sable de rivière humide...... | 1,770 à 1,880 | — |

Deux industries nouvelles ont appliqué les sables à la confection de produits remarquables et fort utiles ; savoir : 1° la Société des Briques et Pierres blanches de Marpent, près Jeumont, dont M. Hignette est l'habile fondateur, 2° l'usine de M. Fabres, pour la fabrication du sable mortier coloré.

Les notices ci-après en feront comprendre l'importance.

## § II. — SOCIÉTÉ ANONYME DES BRIQUES ET PIERRES BLANCHES DE MARPENT, PRÈS JEUMONT (Nord)

La Société des Briques et Pierres blanches exposait ses produits dans le pavillon de l'Union céramique et chaufournière de France. Elle a obtenu une médaille d'argent.

Dans le Palais des Machines, deux cent mille briques blanches, fabriquées par la Société, ont servi à la décoration extérieure des panneaux et des soubassements.

La Société a été fondée en 1882. Elle a succédé à M. Motte, de Dampremy (Belgique) qui, le premier, utilisa industriellement le sable usé des fabriques de glaces.

On sait que pour dresser les glaces, on fait frotter sur leurs surfaces des plateaux en bois garnis de fonte, en interposant entre la glace et le plateau du grès fin ou du sable blanc quartzeux avec addition d'eau ; cette eau en s'échappant entre les parties frottantes, entraîne avec elle le sable usé, mélangé de verre et de la poussière de fonte provenant du frottement du sable interposé. La proportion du verre en poudre impalpable est d'environ 15 % du poids du sable et celle de la fonte 3 %.

L'eau boueuse se rend dans des bassins de décantation où les matières en suspension se déposent. On recueille ensuite ces sables et ils sont accumulés sur un terrain choisi à cet effet, où ils finissent par former des tas énormes.

Ces amas de sables sont très hygrométriques et ne retiennent pas moins de 30 % d'eau.

Au bout d'un certain temps d'exposition à l'air, ils se recouvrent d'efflorescences blanches provenant de la soude en excès qui, par suite d'une température insuffisante, n'est pas entrée en combinaison avec la silice dans la fusion des glaces et qui forme, sous l'influence de l'air et de l'humidité, des combinaisons solubles. Ce résultat peut provenir encore d'une dissociation des éléments constitutifs des glaces par le frottement.

On se rend compte par ce qui précède, que ces sables très humides ne renferment aucun élément plastique et ne peuvent s'agglomérer que sous l'effet d'une très haute pression, laquelle élimine en même temps l'excès d'eau.

Les sables sont séchés au degré de siccité convenable, broyés, malaxés et mis

dans des moules de forme appropriée, puis comprimés à une pression supérieure à 800 kilogrammes par centimètre carré.

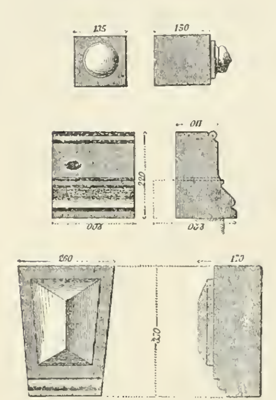


Fig. 18

Les pièces ainsi moulées sont séchées et cuites dans des fours à une température supérieure à celle de la fusion des glaces, environ 1 500 degrés.

La proportion des silicates de soude fusibles, dans ces sables usés, est suffisante pour cimenter les particules siliceuses et donner la consistance nécessaire aux objets façonnés.

A la température élevée à laquelle les pièces sont cuites, le fer est réduit et on obtient un produit parfaitement blanc, auquel on a donné le nom de briques et pierres blanches. Ce produit constitue un nouveau matériaux de construction et possède des qualités toutes particulières.

Le produit est léger, sa densité est de 1,15 à 1,45, selon l'usage auquel on le destine, soit moins des 4/5 de celle de la brique d'argile. Sa composition, silice et verre, montre qu'il est inaltérable aux acides ; aussi est-il employé utilement dans les fabriques de produits chimiques.

Ces briques servent à la garniture intérieure des tours de Glower, des fours à sulfates, pour faire des supports dans les conduites d'acide chaud. En contact avec l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique chauds, elles résistent très bien et ne présentent aucune trace d'altération après quelques mois.

Elles résistent également bien à l'acide sulfureux, au chlorure de chaux, etc. ce qui permet un emploi utile en papeterie.

Dans cette industrie, ce produit est utilisé pour le garnissage intérieur des appareils de blanchiment et aussi sous forme de plaques filtrantes pour pâtes à papier. Ces briques présentent l'avantage de filtrer plus rapidement par suite de leur porosité naturelle et de ne pas être altérées par les acides employés pour les pâtes de bois et de paille.

Ces briques, selon l'usage auquel elles sont destinées, sont plus ou moins comprimées, d'où il résulte une puissance d'absorption plus ou moins grande, 20 à 40 %, *ad libitum.*

Cette grande faculté d'absorption a permis de faire des plaques de grandes dimensions et de faible épaisseur qui servent à la construction de vases poreux pour accumulateurs d'électricité et qui sont d'un prix bien inférieur à celui des plaques en porcelaine.

Les briques blanches ne sont pas gélives ; des essais souvent répétés l'ont prouvé. C'est une matière qui respire, pour ainsi dire, c'est-à-dire prend et rend l'eau avec la même facilité.

En effet, les briques ne sont pas comprimées de telle façon que l'eau qui a été

absorbée ne puisse s'en échapper, et comme le grain en est très fin et régulier, la masse est composée, pour ainsi dire, d'une infinité de tubes capillaires dans lesquels la circulation de l'air est très facile ; il en résulte qu'il suffit d'un vent violent ou qu'il fasse froid, pour qu'elles soient sèches peu de temps après.

On sait que la gelivité s'explique par l'action de l'eau qui, en se congelant désagrège les parties. Mais cela n'arrive que lorsque l'eau ne peut s'échapper facilement ou bien, lorsqu'elle se trouve localisée dans un point sans issue. Or, par la nature même de la brique blanche cet inconvénient est évité, l'eau pouvant sortir aussi facilement qu'elle peut entrer.

Pendant l'hiver de 1881-82, ces briques blanches restèrent absolument inaltérables. Elles faisaient partie du château de *Lodelinsart*, près Charleroi, où elles servaient à la décoration. Elles sont restées les mêmes, malgré les émanations des usines de produits chimiques et charbonnages des environs. Cela tient à la finesse du grain de la brique sur laquelle les poussières ne peuvent s'attacher.

En mélange, les sables usés permettent d'obtenir, avec de certaines terres et avec du granit, un grès cérame très beau ou un pavé résistant qui présente le grand avantage de ne jamais devenir glissant et qui ne demande aucun entretien.

Si on mélange ces sables usés avec des terres cuisant blanc, on obtient, par l'émaillage, des carreaux de revêtement de toute beauté.

Dans la construction des usines, on mélange la brique blanche avec la brique rouge, avec la pierre bleue, etc., et on obtient une certaine ornementation pour les façades et les cheminées.

Enfin la brique blanche se prête bien au moulage et remplace avantageusement la pierre taillée dont le prix est de beaucoup plus élevé (fig. 18).

Les essais officiels faits au Conservatoire des Arts et Métiers ont prouvé que ces briques résistent à l'écrasement complet sous des charges variant de 384 à 450 kilogrammes par centimètre carré.

Pendant la cuisson, un certain nombre de pièces se fendent, de sorte qu'un nouveau déchet se produit. En broyant à nouveau ces déchets et en tamisant le produit du broyage, la poudre donne, en mélange avec un ciment de bonne qualité en proportions déterminées, un ciment d'une belle teinte blanche pour rejointoiements, revêtements et enduits.

En moulant et en cuisant à nouveau cette poudre, on fabrique des *pierres ponces artificielles*.

Les matières premières qui entrent dans cette préparation sont du sable blanc, du feldspath et de la terre réfractaire ; cette dernière, dans la proportion de 5 %, sert de matière agglutinante ; un excès nuirait à la qualité de la pierre ponce.

Le feldspath est employé à l'état calciné et en poudre presque impalpable. Le sable est blanc, très fin et contient une forte quantité de matières vitrifiables. La terre réfractaire est très pure et ne contient guère de sable palpable. On ajoute au

sable 60 pour cent de feldspath en poudre et 5 pour cent de terre réfractaire délayée. Le tout est mélangé sous des meules en fonte tournant dans une auge de même métal. Puis on ajoute la quantité d'eau nécessaire et on coule la pâte dans des moules en plâtre.

Les pierres retirées des moules au bout de quelques heures sont ensuite exposées au séchage à l'air pendant plusieurs jours, et finalement logées délicatement dans des gazettes en terre réfractaire dont chacune reçoit quatre pierres.

L'espace vide entre les pierres est rempli de morceaux de feldspath que l'on calcine ainsi sans frais.

Les fours servant à la cuisson sont à deux étages. Dans la chambre supérieure, on fait cuire les objets les plus divers, tels que petites meules, pierres à repasser, etc., ayant à peu près la même composition que les pierres enfournées dans la chambre inférieure.

Chaque chambre a $1^{m},80$ de large sur 3 mètres de long et 2 mètres de haut. Il y a quatre foyers ordinaires. La cuisson se fait à la houille, elle dure environ trente heures. Il y a toujours quelques pièces de rebut. Les pierres trop cuites sont broyées et rentrent dans la composition de la pâte.

Le meilleure sable est celui qui permet de tirer par un simple tamisage le plus de numéros possible.

Si le sable ne contient pas de grains assez fins pour servir aux numéros 6, 7 et 8 des pierres, on devra recourir à une calcination préalable du sable, soit dans les gazettes, soit en formant des briques avec 90 % de sable et 10 % de terre réfractaire que l'on fera cuire au four pour les pulvériser ensuite.

Le feldspath peut être remplacé par du verre pulvérisé. On mélange alors du sable blanc avec un volume égal de verre pulvérisé et passé au tamis 120, et on ajoute à ces matières 5 à 8 pour 100 de terre réfractaire. La pierre obtenue est aussi belle qu'avec l'emploi du feldspath.

Tout le secret de la fabrication consiste à faire entrer dans la composition de la pâte assez de matières vitrifiables pour que la cuisson puisse s'opérer à une température relativement peu élevée, à peu près égale à celle que nécessite la cuisson de la faïence.

Le sable usé, employé par la Société, ne présente pas d'arêtes coupantes et ne raye pas, tout en présentant un mordant suffisant pour les numéros fins.

Les pierres sont présentées sous forme de briquettes de dimensions commodes et variables. Le grain est régulier et uniforme. Chacun des 20 numéros fabriqués a un degré particulier de finesse de grain. Elles ont une très grande force de polissage, même dans les plus fins numéros. Leur texture est tellement serrée qu'elles ne s'usent que très lentement et très difficilement.

Voici les différentes espèces de pierres ponces fabriquées artificiellement :

| | | |
|---|---|---|
| Gros grains n° 1. . | I | tendre |
| | II | dur. |

| | | |
|---|---|---|
| Grains moyens n° 2. | I | tendre |
| | II | dur. |
| Grains fins n° 3. . . | I | tendre |
| | II | demi-dur |
| | III | dur |
| | IV | très dur. |
| Grains très fins n° 4. | I | tendre |
| id. superfins n° 5 | II | demi-dur |
| | III | dur |
| | IV | très dur. |

En matière de construction, les menuisiers emploient les numéros, 1-II ou le numéro 2-II, pour enlever les rugosités du bois.

Pour le *nettoyage* du bois, on se sert du numéro 3-I, à sec. Afin d'éviter l'obstruction des pores de la pierre, lorsqu'on s'en sert pour polir du bois vert ou résineux, on la frotte de temps en temps avec une autre pierre à grains plus gros et plus durs. La poudre qui résulte de ce frottement est très utile pour accélérer le travail. On peut aussi saupoudrer l'objet à polir avec de la poudre de pierre ponce en grains, ce qui facilite le travail. Pour le *polissage*, on emploie une pierre fine, le numéro 3-II ou le 4-II. Pour empêcher l'absorption de l'huile, on trempe la pierre, au préalable, dans une solution de sel.

Pour le polissage des pierres, on emploie le 4-IV. L'ouvrage s'exécute rapidement et on évite tout bouchage de pierre.

## § 3. — SABLE MORTIER COLORÉ

M. Ch. Stocker, directeur de la Société du sable mortier coloré, a obtenu une médaille à l'Exposition de 1889.

Le sable mortier coloré, système Fabres, est un produit qui rend de véritables services à la construction en général. On ne peut pas toutefois l'appliquer sur les murs salpêtrés ou atteints d'humidité permanente. Il ne craint pas la gelée, il résiste à l'air de la mer et se comporte bien à l'humidité. Une fois posé, il a toutes les qualités de la pierre dite vergelée.

Pour confectionner ce produit on se sert exclusivement de sable de rivière ou de plaine, en tous cas du sable d'eau douce.

### I. — *Sable-mortier-coloré, pierre tendre*

C'est l'enduit le plus usité. On fait un premier crépi, composé pour moitié de sable de rivière ou de carrière fin et pour l'autre moitié de sable-mortier coloré pierre, que l'on gâche dans l'auge comme le plâtre.

Sur ce crépi, de 1 centimètre d'épaisseur, on passe un enduit de sable-mortier-coloré pur. Cet enduit a 2 centimètres d'épaisseur.

On trace ensuite des joints creux de 3 millimètres de largeur, et on obtient ainsi un appareil ayant l'aspect et le grain du vergelé.

### II. — *Sable-mortier-coloré de couleurs diverses*

Le mode d'emploi est exactement le même, en employant comme second enduit le sable-mortier-coloré correspondant à la couleur des matériaux qu'on veut simuler. Les joints de briques se font avec du plâtre coulé dans les creux qu'on ouvre dans l'enduit avec l'outil.

### III. — *Produit spécial pour briques comprimées dites à l'anglaise*

Pour l'application de ce produit, le premier crépi doit avoir 2 centimètres d'épaisseur. Le deuxième crépi se fait avec le sable-mortier-coloré rouge, et n'a qu'une épaisseur de 3 millimètres au plus. On le comprime fortement pour obtenir cette épaisseur et on ne le place que lorsque le premier crépi a été mouillé à la main.

### IV. — *Moulage*

On peut faire des pierres moulées avec le sable-mortier-coloré. On savonne le moule au préalable. On gâche serré, et on applique au pinceau une première couche du produit. On verse ensuite le sable-mortier-coloré, en ayant soin de former une couche d'une épaisseur à peu près régulière. On démoule et on bat avec une brosse à dents pour obtenir le grain de la pierre naturelle.

### V. — *Sculpture*

On peut faire des blocs avec les produits pierre, porphyre, granit, et les sculpter comme des blocs de pierres naturelles. On ne peut pas procéder ainsi pour le produit spécial dit briques à l'anglaise.

### VI

Il faut compter 100 kilogrammes de matières pour faire 4 mètres superficiels d'enduits nus, avec les produits pierre, granit, porphyre et brique ordinaire.

Les produits de sable-mortier-colorés doivent être employés dans les deux mois qui suivent leur fabrication ; jusqu'à leur emploi, ils doivent être tenus en sacs fermés, et dans un endroit clos, à l'abri de toute humidité.

On recouvre de zinc les bandeaux en sable-mortier-coloré, comme on le fait pour les pierres tendres. Les corniches se traînent au calibre.

Ces produits durcissent d'une façon continue pendant plusieurs années et finissent par se silicatiser.

# IX. — PLATRE

## § 1. — GÉNÉRALITÉS

Le plâtre est une substance blanche, qui a la propriété de se prendre presque immédiatement en une masse solide, lorsque, après l'avoir réduite en poudre fine, on la gâche avec une certaine quantité d'eau. Il faut donc avoir soin de le tenir dans des endroits très secs avant de l'employer.

Le plâtre en poudre craint l'humidité ; de plus, il gonfle après l'emploi, puis se retraite d'une quantité assez considérable. Le plâtre ne doit donc s'employer que dans les intérieurs secs ; on le gâche pur et sans mélange de sable. Il oxyde le fer : il peut cependant servir pour les scellements importants.

Le plâtre se tire du gypse qui, soumis à la calcination à une certaine température, perd son eau de cristallisation et se transforme en une poudre fine. Le gypse se rencontre dans les parties supérieures des terrains secondaires et dans les terrains tertiaires. On le trouve beaucoup aux environs de Paris.

L'extraction de la pierre à plâtre se fait comme pour les pierres calcaires, soit à ciel ouvert, soit par galeries. Ce dernier mode est le plus en usage dans les carrières des départements de la Seine et de Seine-et-Oise.

La cuisson se fait dans des fours formés de murs parallèles entre eux et recouverts d'un toit à deux égouts, dont les tuiles sont posées à clairevoie, afin de laisser dégager librement la fumée et les vapeurs.

La pierre à plâtre est déposée en tas entre les murs, en réservant des conduits par lesquels la flamme peut circuler. Sur le sol des conduits, on allume un feu de bois dont la flamme passe à travers les pierres à plâtre et les cuit. La durée de la cuisson dépend de la quantité de pierre mise au four, du degré de dessiccation du bois et de l'état de l'atmosphère.

Le broyage de la pierre cuite se fait à l'aide de moulins en fonte. La poudre passe à travers un crible et tombe dans les sacs préparés pour la recevoir.

Le plâtre s'emploie dans les constructions sous trois formes :

1° Le *plâtre au panier*, dans l'état où l'entrepreneur le reçoit du fabricant ; il sert pour les crépis ordinaires.

2° Le *plâtre au sas*, qui est passé dans un tamis de crin ; il sert pour les enduits et les moulures ;

3° Le *plâtre au tamis de soie*, qui est passé au tamis fin ; il sert pour les moulures et les beaux enduits.

On peut admettre les nombres suivants pour la résistance du plâtre à la compression :

| | | |
|---|---|---|
| Plâtre gâché à l'eau | . . . . . . . | 5 k. par centimètre carré |
| — au lait de chaux | . . . | 7 k. — |

Le poids d'un mètre cube de plâtre varie suivant sa nature :

| | | |
|---|---|---|
| Plâtre cuit battu . . . . . . . | 1200 à 1228 k. | le m. cube. |
| — au panier. . . . . . . . | 1200 à 1227 | — |
| — tamisé . . . . . . . . | 1242 à 1257 | — |
| — gaché humide . . . . . | 1579 à 1600 | — |
| — — sec. . . . . . . . | 1400 à 1415 | — |

Outre les enduits, le plâtre sert encore à faire des briques carrées. Ces briques servent à faire des cloisons légères et sèches. On se sert à cet effet de débris grossiers de tous plâtras.

On fait aussi des carreaux de plâtre servant aux cloisons très légères, pans de bois ou pans de fer. Ces carreaux ont ordinairement 0m,48 de longueur sur 0m,32 de largeur et 0m,055 jusqu'à 0m,16 d'épaisseur. Les carreaux se posent de champ; les joints formant l'épaisseur sont creusés dans le milieu pour recevoir le plâtre qui sert à les lier. On fait également des carreaux en plâtre creux ayant à peu près les mêmes dimensions que les carreaux pleins.

On peut également mélanger au plâtre destiné à ces carreaux, certaines matières comme le fer, etc., qui le rendent plus résistant même à l'humidité.

L'Exposition de 1889 renfermait d'assez curieux échantillons de ces nouveaux produits.

## § II. — MAISON PAUPY ET FILS.

La maison Paupy exposait sur la berge de la Seine, côté du Trocadéro, des échantillons de ses produits : carreaux pour cloisons de toutes espèces ; wagons et tuyaux pour cheminées, hourdis pour planchers. M. Paupy est l'innovateur

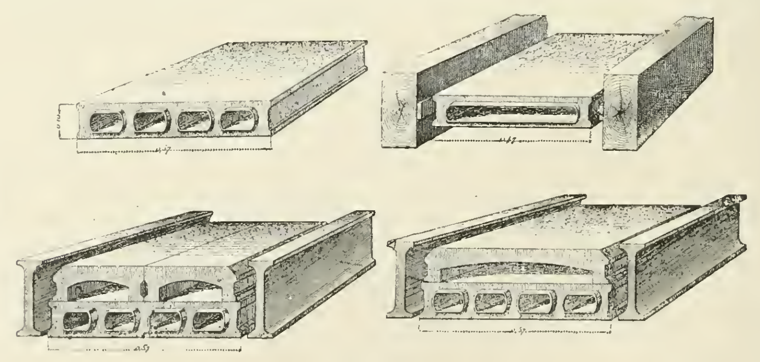


Fig. 19

et l'inventeur des carreaux de plâtre ferrugineux pour cloisons. Ces carreaux ont

$0^m,71$ sur $0^m,41$, soit 29 mètres carrés pour 100 carreaux, il entre dans leur composition du plâtre de première qualité et du *mâchefer lavé*. Avec ces wagons on peut monter un mur de cheminée parfaitement relié et dont tous les joints se coupent.

Les côtés sont très forts ; il en est de même des languettes.

Le hourdis Paupy est très léger et insonore. Les vides sont réguliers. Leur continuité permet de s'en servir pour ventouses et aérage des pièces. Il est prompt à sécher. Il faut peu de charge pour l'enduire. Les entretoises et les fantons deviennent inutiles avec ce système. On peut noyer la solive ou la laisser apparente (fig. 19).

Avec les trois dimensions : $0^m,47$, $0^m,57$, $0^m,62$ on peut hourdir les travées suivantes :

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1° | $0^m,47$ . . . . . . . . . | travées de | $0^m,50$ à $0^m,60$ |
| 2° | 0 ,57 . . . . . . . . . | id. | 0 ,60 à 0 ,65 |
| 3° | 0 ,62 . . . . . . . . . | id. | 0 ,65 et au-dessus. |

Son poids posé est de 70 kilogrammes par mètre superficiel pour une épaisseur de $0^m,085$. Pour tous les écartements de travées, cinq panneaux forment 1 mètre de hourdis. Pour les hourdis au-dessus de dix, on emploie le ponceau, qui se pose sur le hourdis ordinaire en une ou plusieurs parties.

Les panneaux de $0^m,085$ pèsent 12 kilogrammes et ceux de $0^m,10$, 15 kilogrammes.

Tous les hourdis s'agrafant dans l'aile des fers, présentent un inconvénient, celui d'exiger trop de précision. M. Paupy place ses hourdis immédiatement dans le vide, quelque soit l'écartement des solives. Le plâtre fait le serrage et on peut monter ou descendre les panneaux hourdis, suivant les besoins. Pour charger un plafond de 3 centimètres, par exemple, il suffit de descendre le dessous du panneau de 3 centimètres au-dessous des solives ; le plâtre servant de scellement enveloppe celles-ci, on a plus de solidité, d'autant plus que la masse est compacte

Prix des hourdis :

| | | | |
|---|---|---|---|
| $0^m85$ | Le mètre. . . . . . . . . . | 2 | » |
| | Pose . . . . . . . . . . . . | 1 | » |
| | Plâtre pour scellement . . . . | » | 50 |
| | Total . . . . | 3 | 50 |

La maison Paupy et fils a obtenu une médaille d'argent.

# X. — CONSERVATION DES MATÉRIAUX

## § I. — GÉNÉRALITÉS

Le problème de la conservation des matériaux de construction intéresse au plus haut point l'architecte et l'ingénieur.

Les pierres calcaires offrent souvent l'inconvénient de se détériorer à la surface. Transformer la surface de ces pierres en une espèce de marbre dur, brillant, inattaquable à l'air, sans changer les ornements, tel est le problème qu'on s'est posé. Diverses solutions ont été proposées déjà, tels que la silicatisation de M. Kulhmann et le silexore Mignot. M. Kulhmann imprègne le plus profondément possible les pierres avec un silicate soluble de potasse. Il se forme un silicate insoluble de chaux, et un carbonate de potasse soluble. La liqueur de silicate de potasse est à 35°, et, au moment de l'emploi, elle est étendue d'une fois et demie son volume d'eau.

Le silexore Mignot s'applique de la même manière. Il a de plus l'avantage de donner aux enduits en plâtre ou en ciment, l'aspect que l'on désire, aspect de pierre, de brique, etc. Il remplace en un mot la patine naturelle que le temps forme sur les matériaux et les rend inattaquables à l'humidité, cause première de leur détérioration. Cette patine chimique est seulement *transparente* lorsqu'on veut conserver aux matériaux leur aspect naturel, leur caractère, leur ton. Elle n'a pas d'épaisseur appréciable.

Elle est couvrante lorsqu'on veut changer l'aspect naturel des matériaux qu'elle doit recouvrir. Elle a l'épaisseur d'une pellicule.

Tout en étant inattaquable à l'humidité, le silexore Mignot est assez perméable, pour laisser partir les vapeurs d'eau qui se forment dans la pierre au moment de la silicatisation, et il ne se produit pas ainsi de gerçures.

Depuis, de nombreux procédés ont été employés pour arriver à la conservation des pierres et enduits. L'Exposition de 1889 a montré les résultats remarquables obtenus à cette époque par de nombreux et beaux échantillons mis sous les yeux du visiteur.

## § II. — FLUATATION.

### *Procédé Kessler.*

La maison Faure et Kessler, de Clermont Ferrand, exposait ses produits dans la classe 45 et dans la classe 63. Elle a obtenu dans la première, une médaille d'or, et, dans la seconde, une médaille de bronze.

MM. Faure et Kessler ont trouvé et appliqué un procédé permettant le durcissement, le remplissage, le polissage et la teinture profonde des calcaires tendres, des enduits, crépis et ciments. Les pierres les plus tendres peuvent avec économie être ainsi substituées aux pierres dures et aux marbres.

Les pierres dures coûtent plus cher que les pierres tendres, et comme presque toujours les pierres tendres ont une résistance à l'écrasement bien supérieure à celle nécessaire, les causes d'infériorité se réduisent à deux : 1° leurs arêtes et leur couche extrême résistent moins aux chocs et à l'usure ; 2° leur surface est rugueuse, salissante et poreuse.

Il faut donc, pour supprimer cette infériorité : 1° durcir les parties extérieures et boucher les pores ; 2° les lisser et les polir.

Le procédé Kessler durcit la pierre sans y rien laisser que de la pierre et aucun sel ni aucun corps soluble ; il la polit en la lissant.

On emploie à cet effet les fluosilicates. Au contact des calcaires dans lesquels ils pénètrent facilement, ils se décomposent en produits complètement insolubles ou volatils : Silice, spath fluor et oxyde, carbonate ou fluorure, tous insolubles. Il se dégage de l'acide carbonique qui laisse ainsi quelques pores ouverts permettant à l'eau de sortir et évitant les inconvénients de la gélivité. Les plus usités sont :

1° le *fluosilicate double ;*
2° le *fluosilicate de magnésie ;*
3° le *fluosilicate de zinc.*

Les fluosilicates rendent la craie inattaquable par la lime d'acier. On voit donc que le durcissement est complet.

Le lissage, rapide, permet de ne laisser à la surface de la pierre aucune cavité ou vide apparents, d'en boucher les fentes et d'en réparer les petites avaries.

La pierre ensuite peut être poncée et polie. Elle n'est plus entamée par l'ongle, et devient très peu perméable à l'eau. Elle reste propre et facile à nettoyer.

En employant des fluosilicates colorés, il se fait dans la pierre une sélection qui répartit la couleur et en décèle l'anatomie intime en dessins d'un effet artistique.

Dans tous les cas les fluosilicates maniés, même par des mains inhabiles, ne peuvent jamais occasionner d'accidents.

### I. — *Durcissement simple.*

Pour le durcissement simple on emploie, soit :

1° Le *fluosilicate double ;*
2° — *de magnésie ;*
3° — *d'alumine ;*
4° — *de zinc.*

1° *Fluosilicate double.* — Limpide comme de l'eau, marque 40° Baumé. Il se conserve dans des bouteilles en verre. Ne se gèle qu'à des froids excessifs. Ne brûle ni linge ni bois, ni terre cuite, ni pinceaux en crins. S'infiltre vivement dans le calcaire ; on n'a besoin pour saturer la pierre que de repasser la couche une ou deux fois. On se sert d'un pinceau en crin, ou de pompes foulantes si la surface est grande.

Voici la réaction chimique qui se produit.

On a d'abord :

$$2\ Fl^3\ Si + Fl^3\ Al^2 + 6\ Ca\ O,\ Co^2 = 2\ Si\ O^3 + 6\ Fl\ Ca + 6\ Co^2 + Fl^3\ Al^2$$

Le fluorure d'aluminium, au moment où il se sépare ainsi, est soluble dans l'eau et attaque le calcaire pour produire de l'alumine et du fluorure de calcium (spath fluor).

$$Fl^3\ Al^2 + 3\ Ca\ O,\ Co^2 = \begin{cases} Al^2\ O^3 \text{ Allumine.} \\ 3\ Fl\ Ca \text{ Spath fluor} \\ 3\ Co^2 \text{ Acide Carbon. gazeux.} \end{cases}$$

Le sel qu'on introduit dans la pierre à l'état extrêmement soluble s'y fixe en matériaux absolument insolubles que ni la pluie, ni la gelée ne peuvent plus faire sortir.

Dans le *fluosilicate double* se trouve un peu de fluosilicate de zinc qui subit une décomposition analogue et qui a de plus la propriété d'éviter les mousses.

Pour arriver au résultat final, il suffit que le liquide pénètre de 5 à 10 millimètres. On peut aller à 2 ou 3 centimètres. En ramenant la liqueur à 20 ou 30 degrés, on obtient une pénétration plus facile. Seulement, pour arriver au même durcissement, il faut d'autant plus de couches que la liqueur est plus étendue. On laisse sécher chaque couche avant d'en appliquer une autre. On termine par une dernière couche de liquide à 40°.

Le fluosilicate double cristallise par évaporation et les cristaux sont stables à l'air sec. Il suffit de les dissoudre et de les amener au degré aréométrique voulu pour les employer au lieu et place de la liqueur dont nous avons parlé. Le fer, qui reste dans les eaux mêmes des cristaux, permet d'employer la dissolution faite avec ce sel cristallisé, plus sûrement que celle obtenue directement quand on veut colorer la pierre le moins possible.

2° *Fluosilicate de zinc.* — Ce corps présente les mêmes propriétés que le précédent, se livre à 40°, blanchit mieux la pierre. Il laisse un dépôt de carbonate de zinc qui blanchit, du fluorure de calcium (Spath fluor) et de la silice.

3° *Fluosilicate de magnésie.* — Ce corps est moins soluble que les précédents.

4° *Fluosilicate d'alumine.* — Cette matière est plus acide que les précédentes. Elle obstrue vite la surface de la pierre et la pénètre moins profondément. Ne s'emploie que pour les calcaires à grains très lâches. Sert à donner le poli.

## II. — *Lissage et plissage.*

1° *Lissage.* — Pour les pierres tendres sans cavités extérieures, mais dont le grain est sans tenacité, il suffit de ne raboter ou poncer leur surface qu'après un premier durcissement plus ou moins avancé, soit le lendemain d'une imprégnation au fluosilicate double, soit de suite après abreuvement du fluate d'alumine.

Pour les pierres tendres qui ont des vides, on bouche ces vides au préalable. On les remplit avec une pâte formée de la sciure du même calcaire imbibée soit d'eau pure, soit d'un fixatif étendu d'une ou deux parties d'eau, on laisse sécher, puis on passe rapidement à l'aide d'un pinceau une série de couches de fluosilicate de forces graduées. On passe successivement des dissolutions de 6°, 12°, 20°, 40° jusqu'à complet abreuvement.

On doit avoir soin que la pierre, à chaque couche, boive instantanément le liquide. Si une portion de ce dernier séjournait à la surface, l'acide carbonique dégagé dans l'intérieur de la pierre, ne trouverait plus d'issues pour sortir et ferait éclater la couche extérieure déjà durcie. La poudre déposée dans les creux devient aussi dure que la pierre elle-même. On ponce la surface de la pierre ainsi bouchée, et elle devient parfaitement lisse.

Au lieu de faire une pâte, il est plus expéditif d'imbiber la pierre d'une dissolution à 12° d'un fixatif. On lisse ensuite à la pierre ponce. La pâte se fait avec les produits de l'usure du calcaire humide. Les trous se trouvent bouchés du même coup.

2° *Polissage.* — Pour le polissage, on passe à la surface de la pierre une ou deux couches de fluosilicate d'alumine acide à 15 ou 20°.

3° *Imperméabilisation.* — Une imperméabilisation est déjà obtenue partiellement par l'emploi même des fluosilicates et surtout par la couche finale de fluosilicate d'alumine acide.

Pour accentuer l'imperméabilisation, on passe à la surface de la pierre, quand elle est chaude, un encaustique ainsi formé : essence de pétrole, 1 litre ; cire blanche, 75 grammes. On frotte, on passe ensuite un peu de talc.

Pour préparer cet encaustique, on fond d'abord la cire, puis, quand elle commence à refroidir, on verse l'essence et l'on remue le tout. La dissolution est limpide. Au moment de l'emploi, on chauffe au bain-marie la bouteille qui renferme l'encaustique jusqu'à ce que sa limpidité soit parfaite.

Le résultat est meilleur si l'on imbibe la surface de la pierre de paraffine ou de cire fondue. On commence par chauffer la surface de la pierre, et on la frotte avec la cire qui fond à son contact et rentre dans les pores.

On peut aussi imbiber la pierre d'huile de lin en essuyant ce qui peut rester de cette matière à sa surface.

## III. — *Effets décoratifs de coloration.*

Si le fluosilicate est coloré, comme le fluosilicate de cuivre, les réactions indiquées pour les fluosilicates incolores, se produisent aussi. Il reste dans la pierre, de la silice, du spath fluor et un oxyde : soit ici l'oxyde de cuivre. L'oxyde étant coloré, la pierre se trouve teintée d'une manière indélébile. L'anatomie intime de la pierre se trouve décélée. Les parties tendres prennent une couleur vive, celles qui le sont moins restent plus pâles, et les nœuds marmoréens, compacts ou cristallins, ne se teignent pas du tout. Ces teintes se continuent dans la profondeur, se voient en coupe dans les angles et une cassure ou une éraillure ne ramène pas la couleur primitive.

On peut rehausser ces effets, les varier par des couleurs accessoires. A cet effet, dans la pâte qui sert à boucher les cavités de la pierre, on incorpore d'autres couleurs résistant aux acides, et l'on procède au durcissement en substituant un fluosilicate coloré au fluosilicate incolore.

Voici, suivant les couleurs à obtenir, les fluosilicates qu'on emploie :

1° *Bruns et jaunes bruns* : fluosilicates *de fer* et de *manganèse*;

2° *Bleu verdâtre* : le *fluosilicate de cuivre* ;

3° *Vert gris* : — *de chrôme* ;

4° *Violet :* — *de cuivre* suivi d'une imprégnation de cyanure jaune.

On obtient les *jaunes* en faisant suivre l'application des fluosilicates de zinc ou de plomb d'une imbibition de chromate et d'acide chromique.

On obtient les *noirs* en lavant avec un sulfure (le sulfhydrate d'ammoniaque), après un durcissement au fluosilicate de plomb ou de cuivre, etc., etc.

Les fluosilicates ne se décomposent qu'en place, de façon à produire par leur seule réaction sur le calcaire un corps coloré insoluble qui ne peut plus se déplacer.

Le corps qui se fixe n'est pas toujours un oxyde ; c'est souvent un hydrate, un carbonate ou un fluorure susceptible lui-même de modification dans la couleur par un autre réactif qui, en raison de cette fixation première, ne peut le déplacer.

## IV. — *Enduits et Crépis.*

1° *Enduits.* — On laisse d'abord la prise se faire complètement. On fluate ensuite et on lisse comme nous l'avons vu plus haut. On peut faire avec certaines chaux hydrauliques des enduits décoratifs simulant, à s'y méprendre, le grain de la pierre taillée et se moulurant comme le plâtre.

2° *Crépis.* — On procède pour les crépis comme pour les enduits. Il faut, pour les enduits et les crépis que leur épaisseur soit pénétrée jusqu'à la pierre,

sans quoi ils pourraient se détacher des murs par l'effet de la gelée, comme s'ils n'avaient pas été fluatés.

### V. — *Ciments.*

Pour les ciments, on applique une couche de fluosilicate double à vingt ou quarante degrés. On se sert du pinceau. Le lendemain, on lave la pierre à l'eau et on l'essuie, ou bien on la laisse sécher. Comme le ciment boit très peu, un kilogramme de sel fait une vingtaine de mètres carrés. Le ciment est *brûlé*, il peut recevoir la peinture, ce qui n'aurait pas lieu dans tout autre cas.

Pour les ciments éventés, l'imperméabilité n'est pas absolue; il faut alors, pour la rendre complète, une imprégnation de fluosilicate double à vingt ou quarante degrés jusqu'à refus. Les fluosilicates employés sont ceux d'*alumine* et de *magnésie*, lorsqu'il s'agit de caves destinées à recevoir des matières acides. En employant avec le ciment, du calcaire ou des matériaux tendres au lieu de sable, en les durcissant ensuite avec les fluosilicates, on obtient des surfaces polissables. Le spathfluor, la stéatite et le sulfate de baryte sont tout indiqués pour cet usage. Ces produits supportent bien le lavage et les intempéries de l'air.

### VI. — *Terres cuites.*

Comme les terres cuites présentent une très grande variété de composition, l'application des fluosilicates produit sur elles des effets dissemblables. Les terres poreuses ressentent mieux l'effet de la fluatation; il est d'autant plus sensible que la texture de la terre est plus fine, que l'argile est plus calcaire ou moins cuite. Le fluosilicate double rend plus durs les carreaux rouges et les fonce.

MM. Faure et Kessler ont pour les terres mal cuites un fluate argile qui les durcit, même lorsqu'elles ne sont pas cuites du tout. Seulement l'action de la fluatation sur les terres cuites dépend essentiellement de leur composition et il est impossible d'en prévoir l'effet *a priori*.

### VII. — *Résistance.*

La fluatation donne une économie de 30 à 50 % sur la pierre de taille.

D'après des expériences faites à Berlin, l'énergie est telle qu'au bout de vingt-quatre heures, un oolithe qui, après vingt-cinq congélations, ne supportait plus que quatre kilogrammes par centimètre carré à l'état humide et dix kilogrammes à l'état sec, résistait à une charge de trente-deux kilogrammes par centimètre carré après deux couches de fluosilicate d'alumine (saturé). Le même oolithe, soumis à de nouvelles congélations, n'a plus diminué de résistance que jusqu'à vingt-huit kilogrammes. C'est cette même augmentation, environ le triple de la résistance primitive, qu'accusent les essais de compression.

## § III. — SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DU DURCISSEMENT DU PLATRE ET DE LA PIERRE PAR LA MARMORÉINE

La Société de la Marmoréine exposait dans la classe 63. Elle a obtenu une médaille d'argent.

Durci par la simple application du liquide dit la Marmoréine, le plâtre ne peut plus être rayé par l'ongle, ni par un autre corps dur; il se durcit en toute saison dès qu'il est bien sec. Il peut être périodiquement débarrassé par le lavage de toutes souillures, comme une plaque de marbre. Dans la fabrication de ce corps entrent des agents chimiques qui sont des antiseptiques très puissants. Par une simple imbibition, le durcissement du plâtre dans les plafonds, couloirs, cloisons, peut se faire très rapidement même dans un local habité, que les parties à durcir soient neuves ou anciennes, car ce liquide ne tache absolument rien.

On peut s'arranger de façon que le tout reste blanc, ou soit teinté en vert pâle, ou prenne encore l'aspect de la pierre, mais sans couvrir l'enduit.

Ce procédé de durcissement du plâtre est utile partout où il y a agglomération d'êtres animés ou entassement de marchandises.

Après l'opération du durcissement du plâtre, on peut, quarante-huit heures après, coller les papiers. Les murs peuvent être lavés, soit à l'eau claire, soit à l'eau phéniquée.

La Marmoréine préserve les plâtres des moisissures et autres végétations.

Les mêmes effets sont obtenus sur la pierre, le tuffeau, le marbre, etc., etc.

On peut ainsi imperméabiliser les saillies et ornements d'architecture, supprimer le recouvrement en zinc.

Le même procédé s'applique aux statues ou objets d'art en plâtre, sans en altérer en quoique ce soit la forme, et permet de les laisser exposés à l'air.

On peut imperméabiliser ainsi les bois, chêne, sapin, hêtre, pitchpin, etc., de la façon la plus complète, et les rendre imputrescibles.

De nombreux travaux ont confirmé ces propriétés.

Le 30 mars 1889, dix mètres de plancher en sapin, après avoir été nettoyés à la paille de fer, furent imperméabilisés et couverts de dix litres d'eau ; après six heures de séjour, l'eau fut recueillie avec une éponge et on constata que la déperdition ne dépassait pas cent grammes, déperdition provenant de l'évaporation produite par la différence de température du plancher et de celle de l'eau répandue.

A l'administration de l'Assistance publique, à Paris, des murs enduits de plâtre, ainsi marmorisés, ont été lavés à l'eau phéniquée pendant quarante-deux jours consécutifs par ordre de l'administration sans qu'on ait pu, après cette longue expérience, constater une altération appréciable de la dureté première.

# XI. — ARDOISES

## § I. — NOTIONS GÉNÉRALES

L'ardoise est une variété de schiste argileux du groupe des roches silicatées. L'ardoise est en feuillets plus ou moins grands, minces, légers, très droits, faciles à séparer.

Lorsqu'elle est de bonne qualité, elle a une apparence homogène ; elle rend un son clair lorsqu'on la frappe avec un corps dur. Sa couleur est d'un gris bleuâtre foncé, tirant sur le noir.

Elle se présente dans la nature en couches verticales ou très inclinées. Le schiste ardoisier appartient aux terrains de transition, on y rencontre des empreintes d'animaux.

L'ardoise a peu d'affinité pour l'eau. Elle résiste très bien aux influences atmosphériques, à l'humidité, à la chaleur.

Elle est utilisée pour les couvertures des maisons, pour des revêtements de murs, pour les dallages, les tableaux d'écoles, les crayons, les dessus de cheminées, de guéridons, etc. Elle est susceptible d'un beau poli.

On trouve des ardoisières en Angleterre, en Suisse, en Italie. C'est surtout en France que cette industrie a pris une grande extension, par suite de l'importance des couches que renferme le sol.

Dans l'Anjou, la masse s'étend de Trélaze à Avrillé sur une longueur de huit kilomètres, et à une profondeur exploitée de près de cent cinquante mètres. Les carrières des Ardennes sont également riches en ardoises d'une bonne qualité. On les exploite par des galeries souterraines qui s'étendent jusqu'à 120 mètres de profondeur. Les principales ardoisières de ce pays sont à Rimogne, près Charleville, et à Fumay.

L'exploitation des carrières d'ardoise se fait à ciel ouvert, lorsque la couche de *mort-terrain* n'est pas trop épaisse. Dans le cas contraire, on a recours aux galeries souterraines qui se rejoignent par des puits. On divise les blocs dans la carrière même, car ils perdent rapidement à l'air libre la propriété de se fendre facilement en feuillets minces.

Il y a un grand nombre d'espèces d'ardoises. Les meilleures pour les couvertures des maisons sont dures, pesantes, de couleur bleu clair, compactes.

On a imaginé de donner aux ardoises une durée plus longue en les faisant cuire dans un four à briques jusqu'à ce qu'elles aient pris une couleur rougeâtre. Cette cuisson leur donne, comme à toutes les matières argileuses, une dureté considérable, à tel point qu'il faut avoir soin de les façonner et de les percer avant de les soumettre à cette opération.

## § II. — COMMISSION DES ARDOISIÈRES D'ANGERS

L'industrie ardoisière était largement représentée à l'Exposition universelle de 1889. Sur la berge de la Seine, côté du Trocadéro, se trouvait les produits de la *Commission des ardoisières d'Angers* et un modèle de scierie mécanique pour le travail du schiste ardoisier, sous toutes les formes utiles à l'art et à l'industrie. La couverture des annexes de la classe 63 était faite avec les ardoises de la Société. Les ardoises d'Angers donnent à la couverture une solidité et une stabilité et par suite une durée, que ne présente pas l'ardoise ordinaire. Elles deviennent d'autant moins altérables sous l'influence des agents atmosphériques, que leur épaisseur est plus grande; elles permettent l'emploi d'inclinaisons plus faibles, d'un voligeage plus léger. Les toitures qu'elles forment peuvent supporter le poids des hommes sans qu'il soit nécessaire de recourir à des précautions particulières, comme cela a lieu pour l'ardoise ordinaire.

Des expériences ont été faites sur les ardoises d'Angers par M. Blavier, ingénieur des mines. En voici les résultats :

1° Des ardoises, chargées directement sur une surface égale à un décimètre carré et reposant par leurs quatre côtés sur un cadre bien dressé, ont supporté :

| | | | |
|---|---|---|---|
| Avec | 1m/m | d'épaisseur | 8 kilog. |
| — | 2 | — | 35 — |
| — | 3 | — | 50 — |
| — | 4 | — | 90 — |
| — | 5 | — | 120 — |
| — | 6 | — | 150 — |
| — | 7 | — | 170 — |

Les charges supportées croissent rapidement avec l'épaisseur des ardoises Deux ardoises de un millimètre d'épaisseur chacune, superposées, n'ont supporté qu'une charge de trente kilogrammes; d'où il résulte qu'il y a, pour la résistance, avantage à employer une ardoise unique de six millimètres plutôt que trois ardoises superposées de chacune deux millimètres.

2° Ayant chargé directement des ardoises de même épaisseur et de dimensions variables, on remarque que l'ardoise de

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | centimètres carrés et | 3 | millimètres d'épaisseur | supporte | 60 kilos |
| 25 | — | 3 | — | — | 50 — |
| 30 | — | 3 | — | — | 45 — |
| 35 | — | 3 1/2 | — | — | 57 — |
| 40 | — | 4 | — | — | 65 — |

3° Opérant sur de grandes ardoises de 60 centimètres sur 36 appuyées par leurs quatre côtés sur un cadre bien dressé, on a trouvé que l'ardoise de

6 millimètres d'épaisseur supporte une charge de 130 kilogs
7 — — — 150 —

4° Opérant encore sur une de ces grandes ardoises faites d'après les modèles anglais et ayant cinq millimètres d'épaisseur, on a produit une charge uniforme de 190 kilogrammes au moyen d'une colonne d'eau, avant d'atteindre la limite de résistance.

5° On a cherché la résistance à l'arrachement que présente une ardoise quand elle est fixée par deux clous sur les combles. Une ardoise de 60 centimètres sur 36, ayant 4 millimètres d'épaisseur, après avoir été percée de deux trous placés à 2 centimètres de chacune des arêtes et fixée par deux clous introduits dans ces trous, a résisté à l'arrachement produit par un poids de 100 kilos.

En résumé, les propriétés mécaniques du schiste ardoisier d'Angers sont les suivantes :

$$\text{Résistance à la rupture } \frac{R}{10^6} = 7.046$$

Coefficient supérieur à celui des meilleurs bois de chêne.

$$\text{Elasticité } \frac{E}{10} = 11,5 \text{ à } 12$$

Coefficient sensiblement le même que celui d'une fonte de qualité moyenne.

Résistance à l'écrasement — 1 285 kilogrammes par centimètre carré

perpendiculairement à le stratification ; 877 kilogrammes, parallèlement à la stratification, chiffres comparables à ceux donnés par les meilleurs granits.

Les propriétés physiques ne sont pas moins importantes :

Densité 2,9.

La composition chimique est la suivante :

| | |
|---|---|
| Silice . . . . . . . . | 48,60 |
| Alumine . . . . . . . | 23,50 |
| Oxyde de fer . . . . . | 11,30 |
| Magnésie . . . . . . . | 1,60 |
| Potasse. . . . . . . . | 4,70 |
| Eau . . . . . . . . . | 7,60 |
| | 97,30 |

Le schiste d'Angers se rabote, se tourne et se perce avec facilité. Aussi peut-il donner des joints d'une perfection absolue.

A l'état naturel il est d'une couleur sombre ; aussi, jusqu'à présent, l'a-t-on peu employé pour la décoration et l'ameublement.

Cependant la Commission des Ardoisières d'Angers a vaincu cette difficulté. On modifie la teinte de l'ardoise en la recouvrant d'un enduit au vernis passé

au four, pouvant en outre lui donner les couleurs les plus variées. On imite ainsi, à s'y méprendre, les panneaux de faïence de toutes nuances et toutes espèces de roches, notamment les marbres griottes.

Ce nouveau produit trouve son application dans l'assainissement public et privé, concurremment avec les appareils en faïence, porcelaine, grès, pour cabinets d'aisance, urinoirs, revêtements hydrofuges et panneaux décoratifs de toutes dimensions pour vestibules, salles de bains, lavabos, etc. La Commission des Ardoisières d'Angers fabrique également des plinthes, stylobathes, devantures de magasins, etc.

Le prix de l'ardoise émaillée est de beaucoup inférieur à celui des produits similaires, faïence, lave, marbres, etc.

L'ardoise d'Angers peut recevoir avec beaucoup de facilité la peinture à l'huile et à l'essence, ainsi que les vernis, ce qui permet de l'appliquer au lambrissage et au revêtement des murs contre l'humidité, tout en présentant un aspect ornemental.

M. Larrivière, gérant de la Société, étant membre du jury, la Commission des Ardoisières d'Angers était hors concours.

### § III. — EXPOSITIONS ARDOISIÈRES DIVERSES

On remarquait encore les expositions de la Commission des Ardoisières de Renazé, de la Compagnie des Ardoisières de la Corrèze. Dans l'exposition de cette dernière se trouvaient des blocs de schiste ardoisier ayant subi toutes les transformations, et des modèles d'outillage.

---

## XII. — MATIÈRES DIVERSES

Pour terminer cet article de la *Revue technique*, il reste à dire quelques mots des industries qui se rattachent à la construction par l'emploi dans le bâtiment de certains de leurs produits.

### § I. — VERRE, CRISTAL

Telle est, par exemple, l'industrie du verre. Dans les constructions, on emploie le verre comme vitres, glaces avec ou sans tain, comme dalles transparentes pour

l'éclairage des caves, et enfin sous forme de tuile pour l'éclairage des grands espaces couverts.

On désigne sous le nom générique de verre un silicate plus ou moins complexe, toujours assez fusible et peu altérable à l'air et à l'humidité. Les diverses sortes de verres diffèrent par leur composition chimique.

Le *verre ordinaire*, le *verre à vitres*, sont des silicates de soude et de chaux.

Le *verre à bouteilles* renferme en outre une petite proportion d'alumine et de sesquioxyde de fer.

Le *crown-glass* est un silicate de potasse et de chaux.

Le *flint-glass* est un silicate de potasse et d'oxyde de plomb.

Le *cristal* et le *strass* renferment les mêmes éléments, mais dans des proportions différentes.

Les *verres colorés* empruntent leur coloration à différents oxydes métalliques.

Les *émaux* doivent en général l'opacité qui les caractérise à un peu d'oxyde d'étain.

1° *Verres à vitres.* — La composition des mélanges qui, par leur réaction mutuelle et leur fusion, doivent finalement donner le verre, est extrêmement variable ; voici deux exemples qui se rapportent aux verres à vitres :

| | | |
|---|---|---|
| Silice (Sable) . . . . . . . . . . | 69,6 | 71,9 |
| Chaux. . . . . . . . . . . . . . | 13,4 | 13,6 |
| Soude. . . . . . . . . . . . . | 15,2 | 13,1 |
| Alumine . . . . . . . . . . . . . | 1,8 | 0,6 |
| Oxyde de fer . . . . . . . . . . | traces | 0,6 |
| Bioxyde de manganèse . . . . . . . | traces | 0,20 |
| | 100.00 | 100.00 |

Le mélange se fait dans un local spécial. La fusion s'opère dans de grands bassins en argile réfractaire. Ces creusets peuvent contenir de 5 à 600 kilogrammes de verre fondu. Les fours les plus employés sont les fours Siemens, les fours Boétius.

Le travail du verre se fait avec la canne du verrier. C'est un long tube de fer à l'extrémité duquel l'ouvrier cueille une masse de matière à l'état de demi-fusion et à laquelle il donne différentes formes en insufflant graduellement de l'air dans son intérieur. Lorsque l'ouvrier a obtenu un manchon de verre, il le porte dans un four à étendage, après l'avoir fendu dans toute sa longueur. On développe le manchon dans ce four, dont la température est suffisante pour amollir le verre. — L'étendage se fait sur une sole en terre réfractaire recouverte déjà d'une feuille de verre pour conserver le poli de la surface extérieure du manchon.

La nouvelle feuille de verre est portée dans un four à refroidir et à vernir. Le refroidissement complet dure une demi-heure. La recuisson est suffisante et la coupe du verre très régulière.

La *coloration des verres à vitres* s'obtient par l'addition d'oxydes métalliques. Les verres peuvent être colorés dans toute leur masse ou être formés d'un verre incolore recouvert d'une couche de verre coloré.

Les verres colorés dans toute la masse se font en mélangeant l'oxyde choisi aux autres éléments qui entrent dans la composition des matières mises dans les pots.

Les verres formés d'un verre incolore recouvert d'une couche de verre coloré, s'obtiennent en plongeant la masse de verre incolore, cueillie au bout de la canne, dans un creuset renfermant du verre coloré, et en procédant ensuite comme pour un verre ordinaire.

Pour le *verre cannelé*, on le souffle dans un moule à cannelures.

Le *dépolissage* du verre se fait au moyen du grès que par une disposition spéciale on fait passer sur les feuilles de verre.

2° *Pavés de verres*, *Tuiles*, etc. — Au nombre des produits spéciaux introduits depuis quelques années dans les constructions, il y a lieu de signaler les *verres de toitures*, les *verres coulés à reliefs*. On emploie pour ces produits des verres demi-blancs. Ces verres présentent une face polie et une face à reliefs. On peut leur donner le ton coloré.

Tous ces verres sont coulés. L'expérience a démontré leur supériorité comme résistance sur les verres soufflés.

On obtient par des moules appropriés dans lesquels on coule le verre fondu et teinté à la couleur voulu par un oxyde métallique bien choisi, soit des verres à petits ou grands losanges, des dalles quadrillées, des pavés en verre, et enfin des tuiles type Muller et type Montchanin.

3° *Glaces*. — Les glaces sont soufflées ou coulées. Les premières se font en Bohême et à Venise; pour les former on procède comme pour le verre à vitres. Les glaces coulées se font surtout en France.

La composition des glaces est la suivante :

| | |
|---|---|
| Sable . . . . . . . . . . . . . . . . . | 270 |
| Sulfate de soude. . . . . . . . . . . . . | 100 |
| Pierre calcaire. . . . . . . . . . . . . . | 100 |
| Charbon . . . . . . . . . . . . . . . . . | 6 à 8 |

Le mélange est mis dans de grands creusets et porté au four. On coule sur des tables roulantes que l'on pousse dans l'intérieur de fours à recuire.

La fusion des matières, l'affinage et la *braise* (refroidissement lent) durent vingt-quatre heures.

Les glaces sont ensuite *doucies* par le frottage avec du sable, puis *savonnées* avec de l'émeri très fin, et enfin *polies* à l'aide de feutres, avec interposition de colcotar.

L'étamage se fait à l'aide d'un amalgame d'étain qu'on pose sur l'une des faces de la glace.

On argente les glaces, en fixant sur l'une des faces une dissolution de nitrate d'argent dans de l'ammoniaque mélangée à de l'acide tartrique. Mais ce procédé réussit peu, la dissolution d'argent ne se fixant pas suffisamment sur la glace.

M. Lenoir a imaginé de réunir les deux procédés et d'amalgamer les glaces argentées au moyen d'une couche de mercure placée sur la couche d'argent. Ce procédé a donné de bons résultats.

M. Dodé a essayé de remettre à la mode le procédé de platinage de Ladershorff. On étend sur la glace, à l'aide d'un pinceau, une dissolution de chlorure de platine et d'essence de lavande. On passe au mouffle pour la fixation de la dissolution. On laisse refroidir et on applique une deuxième couche contenant de l'essence de lavande, du chlorure de platine et du sous-nitrate de bismuth. Mais ce procédé n'est guère employé.

L'art de la verrerie était représenté d'une façon toute particulière à l'Exposition de 1889. On remarquait les produits de MM. Appert, de la Société anonyme des manufactures de Saint-Gobain, des manufactures de Jeumont et Aniche (grand prix), de Jourdil (médaille d'argent), etc.

## § II. — PEINTURES, TENTURES ET PAPIERS PEINTS

1° *Peintures*. — La peinture joue un rôle important dans la construction. Elle sert à couvrir de diverses couleurs la surface du bois, du fer, de la maçonnerie, dans le but de les conserver et d'obtenir des décorations agréables à la vue.

Les travaux préparatoires à exécuter avant de peindre consistent dans l'époussetage, le lessivage, le grattage et le rebouchage.

Les couleurs sont pulvérisées, tamisées et broyées, et enfin imbibées soit dans l'huile, soit dans l'eau et l'essence.

Quelquefois les couleurs sont délayées dans une dissolution plus ou moins concentrée de colle-forte.

Pour donner aux corps un brillant plus intense on passe après peinture, une ou deux couches de vernis. Le vernis provient de la dissolution d'une résine dans divers véhicules, comme l'alcool, l'esprit de vin, l'essence.

A l'Exposition de 1889, on pouvait remarquer les vernis de la *Société anonyme des gommes nouvelles et vernis*.

La Société des Gommes nouvelles et Vernis, à Paris, fabrique des peintures vernissées à base de zinc et de plomb qui donnent aux surfaces l'aspect de l'émail

et de la porcelaine. On applique une couche de fond avec de la peinture à l'huile ordinaire, et lorsqu'elle est sèche, on pose par dessus une couche de peinture vernissée. Cette dernière, un peu moins fluide que la peinture ordinaire, s'étale plus difficilement. Avec 1 kilogramme de peinture, on couvre 10 mètres carrés de surface. La peinture vernissée devient très dure en séchant, elle ferme parfaitement tous les joints et toutes les fissures. Elle est d'un bel aspect, donne des surfaces lisses et brillantes qui rappellent l'émail, elle est très résistante, elle ne s'écaille pas et elle est absolument imperméable à l'eau. On peut la laver souvent avec de l'eau très chaude, avec des solutions savonneuses, alcalines ou phéniquées sans que le brillant soit enlevé et sans qu'elle subisse aucune détérioration.

Cette peinture peut s'appliquer sur toutes sortes de matériaux, murs en plâtre, ciment, bois. Elles permet d'imiter les carreaux vernissés, le bois, les marbres variés et se prête à l'exécution de peintures décoratives.

Un kilogramme de peinture vernissée coûte 2 fr. 50 pour les tons communs; à cette dépense il faut ajouter 0 fr. 15 de main-d'œuvre par mètre carré, ce qui porte le prix du mètre carré à 0 fr. 40 ; avec la peinture ordinaire, il faudrait trois couches de peinture plus une couche de vernis, ce qui porte le mètre carré à 1 fr. 40. Les peintures vernissées ont une durée très prolongée. Il y a donc avantage et économie réelle à employer les peintures vernissées, chaque fois que les surfaces à peindre exigeraient trois couches de peinture ordinaire. Elles doivent être employées dans les hôpitaux, les salles d'isolement, les salles de bain, les lavabos, les cabinets d'aisances et les locaux exposés à l'humidité par le fait de la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air.

En résumé, une seule couche peut remplacer avec avantage une couche de peinture à l'huile et une couche de vernis, d'où il résulte une économie de temps et d'argent.

La peinture vernissée de la *Société anonyme des gommes nouvelles et vernis* a été exclusivement adoptée pour la peinture de la Tour Eiffel [1].

2° *Papiers peints.* — La classe 22 contenait des échantillons nombreux de papiers peints. On pouvait se croire dans la classe des soieries et dans celle des tapisseries. Les parois étaient garnies de velours de Gênes, de brocards, de lampas de satin lyonnais, de verdure des Flandres, et l'imitation avait atteint une telle perfection que le toucher seul pouvait faire tomber l'illusion.

L'industrie du papier peint a réalisé des progrès immenses. On imprime aujourd'hui jusqu'en vingt-six couleurs, et les étoffes les plus compliquées de dessins peuvent être reproduites. Quant à la question artistique, il est indiscutable que le goût des belles décorations s'est fort développé.

(1) Elle est employée depuis plusieurs années par les Chemins de fer de l'État et les grandes compagnies de chemins de fer, les hôpitaux militaires et civils, les lycées, casernes, etc.

La production étrangère à bon marché avait, il y a quelques années, provoqué une sorte de crise dans cette industrie ; mais la réaction en faveur des créations françaises n'a pas tardé à se faire.

3° *Linoléum.* — La classe 22 renfermait également des échantillons de linoléum.

Le linoléum est fabriqué avec de la poudre de liège et de l'huile de lin oxydée ; il se fait en teintes unies, couleurs bois, marron, et avec dessins variés. Les couleurs sont appliquées sur la pâte chaude et incrustées. Le linoléum s'emploie en applications sur les murs humides, comme tentures, panneaux décoratifs, soubassements ; il peut rester avec sa simple nuance et aussi se peindre aux raccords.

On remarquait encore une matière particulière appelée la *lincrusta Walton.* Ce produit peut prendre tous reliefs comme le bois sculpté, le carton-pierre. Il est inaltérable à l'humidité et absolument imperméable à l'eau. Il ne se dilate ni se fend sous l'influence de la chaleur, et il résiste également bien au froid. Il n'absorbe aucune odeur et il est, par suite, parfaitement hygiénique. Il se fixe au moyen d'un tiers de *colle double de peau* et de *deux tiers de pâte de froment*, le tout aussi épais que possible.

4° *Métaux.* — La fonte, le fer, l'acier, le cuivre, le zinc et le plomb sont couramment employés dans les constructions. Nous n'en parlons point, les différentes industries qui ont pour objet leur extraction, leur fabrication et leur emploi, étant étudiés dans une autre partie de la *Revue technique.*

---

# XIII.— INDUSTRIES SE RATTACHANT A LA CONSTRUCTION

---

## MACHINES DIVERSES.

Parmi les industries se rattachant à la construction, il faut citer celles relatives à la construction des machines servant à la préparation de la plupart des matériaux de construction. On est arrivé à notre époque à produire vite, bien et avec une grande économie de main-d'œuvre. On doit ce résultat au zèle tout particulier que les constructeurs mécaniciens ont apporté à l'étude attentive des besoins des diverses industries du bâtiment, et au soin qu'ils ont mis à les satisfaire dans la disposition des appareils.

L'Exposition Universelle de 1889 a fourni de nombreux spécimens de ces machines.

Parmi les exposants pour les machines à briques, il faut citer principalement : MM. Boulet et Cie (Paris) ; Delahaye (Tours) ; Joly et Foucard (Blois) ; Schmerbeer (Tagolsheim).

M. Pinette, constructeur à Chalon-sur-Saône exposait une série de machines pour la fabrication des tuiles et pour celle des briques.

M. Borie, une machine pour briques creuses.

M. Ollagnier (de Tours) une machine à briques.

Les broyeurs pour chaux, ciments, plâtre, terre à brique étaient exposés par : MM. Fleury, Trolliet-Pochet, Morel, Konow (modèle Alsing).

M. Chambrette-Bellon (de Bèze) montrait une pièce à démoulage automatique.

## I. — *Céramique de construction.*

1° *Usine Pinette.* — Depuis quelques années, de grands progrès ont été réalisés dans la construction des machines servant à la fabrication des produits céramiques.

Les plus riches et les plus importants gisements d'argile se trouvant en Bourgogne, c'est dans cette région que s'est tout naturellement développé l'industrie qui nous occupe.

Parmi les constructeurs qui se sont fait une spécialité des machines pour tuileries et briquetteries, il convient de citer M. Pinette, de Chalon-sur-Saône.

Les établissements de M. Pinette, parfaitement montés, ont acquis une réputation universelle. La majeure partie des grandes et importantes tuileries de Bourgogne, un grand nombre d'usines de ce genre à Paris, en province et à l'étranger ont été complètement outillées par ce constructeur.

Nous allons décrire quelques-uns des types de machines qui se rapportent aux deux procédés de fabrication employés ; ils dépendent de la nature de la matière première. On travaille en effet les terres de manière différente, soit par la méthode dite en terre ferme, ce qui est le cas des installations de Bourgogne, soit par la méthode en terre molle, ce qui est le cas des installations des grandes usines de Marseille, de Paris et de ses environs.

Quelle que soit d'ailleurs la qualité de la terre, il faut l'extraire de la carrière au moyen de grue roulantes et la transporter à l'usine. On emploie généralement pour ce transport de petits wagonnets roulants sur voies portatives. M. Pinette a présenté des grues et des wagonnets fort bien étudiés et exécutés.

Il est très rare que l'on n'ait pas à faire des épuisements dans les carrières à terre. La maison Pinette construit pour cela des pompes héliço-centrifuges actionnées par des moteurs verticaux qui rendent les plus grands services, vu leur grand débit.

Facilement transportable, ce matériel peut circuler sur tous les chemins de

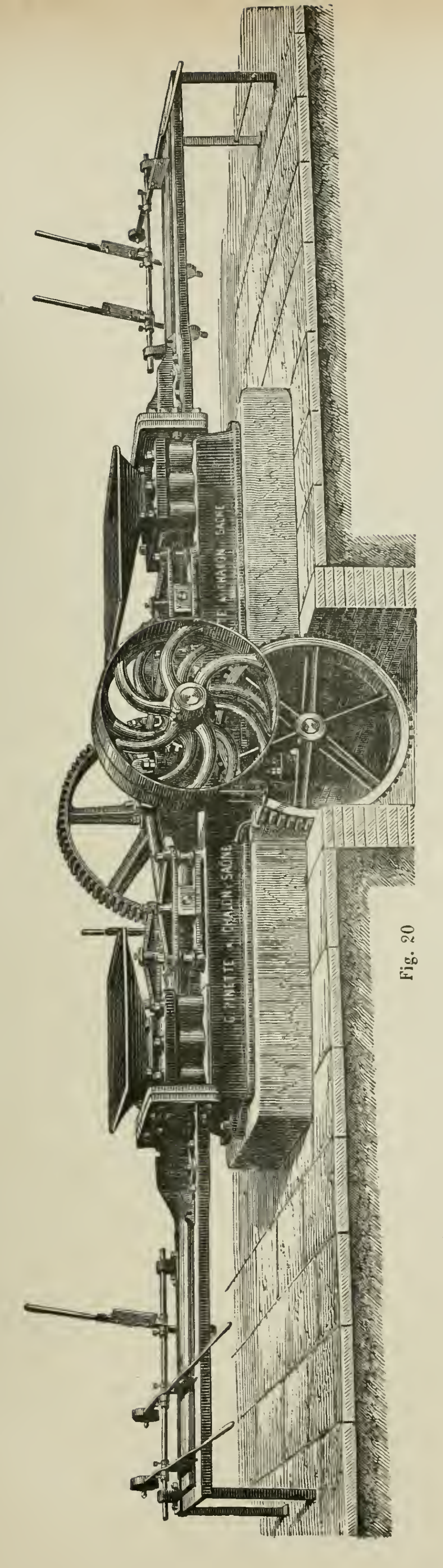


Fig. 20

fer et être mis dans les mains de n'importe quel ouvrier. Lorsque la pompe ne fonctionne pas, on peut utiliser la machine à d'autres usages, grâce à sa facilité de déplacement.

Certaines argiles extraites de carrières en morceaux de dimensions variées doivent subir une préparation ayant pour but de permettre leur écrasement ultérieur. On les taille à l'aide d'une machine décrite (fig. 20).

### 1° *Fabrication en terre ferme.*

Les terres doivent être tout d'abord cylindrées pour écraser les grains de quartz, calcaire, silex ou autres, qu'elles contiennent, puis ensuite malaxées afin que tous ces grains écrasés puissent être bien disséminés dans la masse.

Le cylindrage doit être plus ou moins énergique suivant que les terres sont plus ou moins chargées de terres étrangères; ainsi, tandis que pour des terres pures on se contente d'une seule paire de cylindres de 35 à 50 centimètres de diamètre, lorsqu'elles contiennent beaucoup de pierres il faut recourir à des cylindres de 75 centimètres et même de 1 mètre de diamètre, auquel cas il faut avoir deux paires de cylindres : la première qui sert à dégrossir, la deuxième à finir le travail.

Les terres écrasées ou cylindrées sont transportées par une toile sans fin au malaxeur, machine qui se compose essentiellement, comme

l'indique la figure 21, d'une cuve en fonte ou cylindre vertical, avec une ouverture à sa partie supérieure par laquelle on introduit la terre. Les terres malaxées sortent de la machine par une seconde ouverture avec porte que l'on aperçoit sur le devant et au bas de la cuve. Cette porte est manœuvrée par une vis

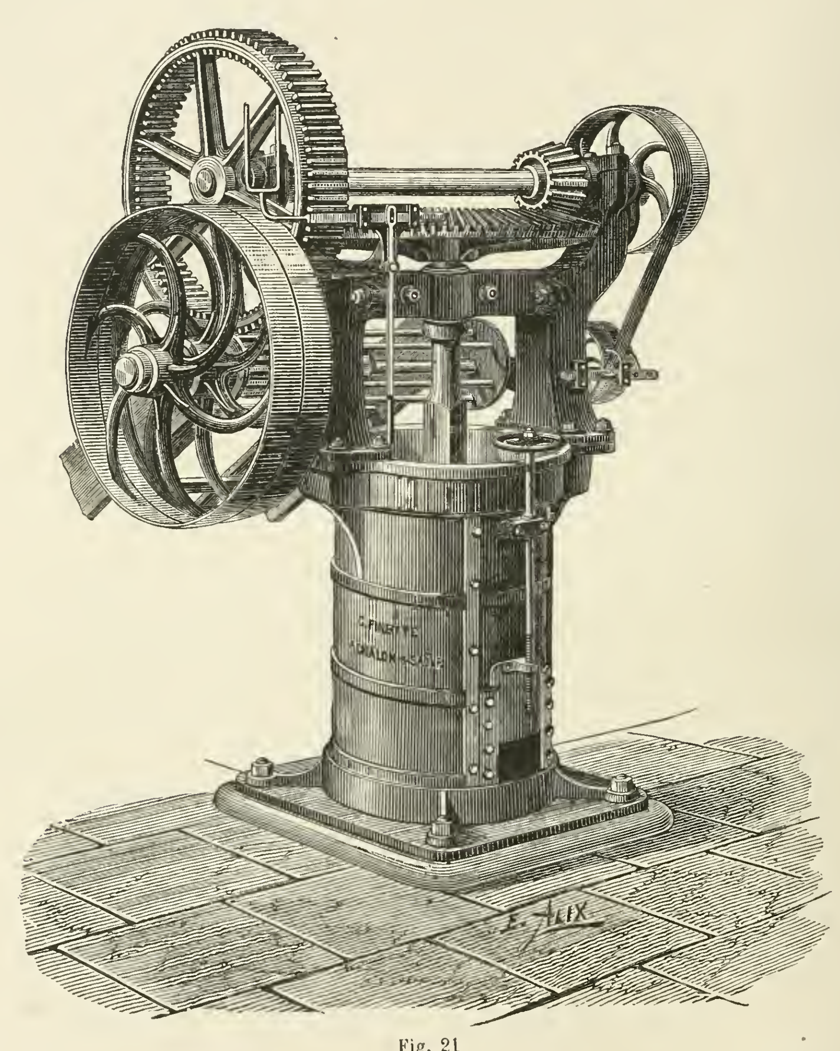


Fig. 21

actionnée à l'aide d'un petit volant. Dans la cuve tourne un arbre armé de lames qui triturent la terre et la chassent ensuite par l'ouverture du bas. L'arbre reçoit son mouvement d'une poulie actionnée par la transmission de l'usine, et d'un système de roues d'engrenages. La poulie calée à l'extrémité de l'arbre qui

porte la grande roue et le pignon conique, transmet le mouvement au tambour sur lequel passe la toile sans fin qui amène la terre dans le malaxeur.

La terre, une fois amenée à l'état de pâte bien régulière et bien homogène est jetée dans la machine à étirer d'où elle sort à l'état de bandes que l'on coupe de longueur convenable pour en faire des tuiles, des carreaux ou des briques.

La machine que représente la figure 2 est à double effet, ce qui permet de faire de chaque côté des produits différents ; elle peut produire en 10 heures environ 8 000 à 10 000 galettes pour 13 au mètre carré ; les terres au sortir du malaxeur sont jetées dans les deux trémies qui surmontent deux caisses ouvertes ; dans ces caisses se meuvent deux pistons commandés par deux bieilles montées sur un arbre commun, de manière que l'un des pistons s'avance dans sa caisse tandis que l'autre se retire ; la terre tombant dans la caisse derrière le piston pendant son mouvement de recul, est poussée par lui dans une filière lorsqu'il revient en avant.

La galette est reçue sur un tablier composé d'une tôle graissée pour faciliter le glissement de cette galette qui est coupée à longueur voulue, par des couteaux à charnière, tournant autour d'un axe et maintenus en l'air par des contrepoids. Il suffit de rabattre ces couteaux et de les abandonner ensuite à eux-mêmes pour qu'ils reprennent leur position première sous l'action du contrepoids. Leur écartement étant variable, il est facile de les placer suivant la longueur des produits.

Quand on veut découper des briques pleines ou creuses, on se sert d'un tablier à rouleaux et les produits sont coupés par des fils d'acier fixés à un châssis que l'on rabat et que l'on fait osciller sur son axe.

La forme des produits varie suivant la filière adaptée à l'extrémité de la caisse à terre, on peut donc obtenir à volonté des galettes pour tuiles, carreaux et briques pleines, briques percées, tuyaux-drains, hourdis, voussoirs, boisseaux, etc.

La galette préparée, pour en faire une tuile par exemple, est placée sur la partie inférieure d'un moule en fonte, adapté à une presse à friction, représentée par la figure 22.

Le demi-moule coulisse sur un culbuteur ; on l'amène sur le devant de la presse pour recevoir la galette. Celle-ci une fois posée, l'ouvrier repousse le demi-moule inférieur sous le demi-moule supérieur également en fonte ; puis au moyen d'un levier placé à portée de sa main droite, il fait descendre le dessus du moule qui vient s'emboîter exactement sur le dessous en comprimant la terre dans les vides. Au troisième coup de pression, la tuile est formée. On relève alors le moule supérieur, on fait glisser le moule inférieur sur le devant de la presse en l'attirant à soi, et ce moule faisant alors charnière sur un axe placé en dessous, la tuile qui était dessus tombe naturellement sur une planchette que le mouleur tient de la main gauche.

La planchette garnie de sa tuile est posée sur une table où une femme la prend pour enlever les bavures et la place ensuite sur une toile sans fin qui l'emmène au séchoir.

La presse à tuiles à friction qui est représentée par la figure 22, se compose comme on le voit, d'un bâti en fonte, qui supporte un arbre horizontal sur lequel

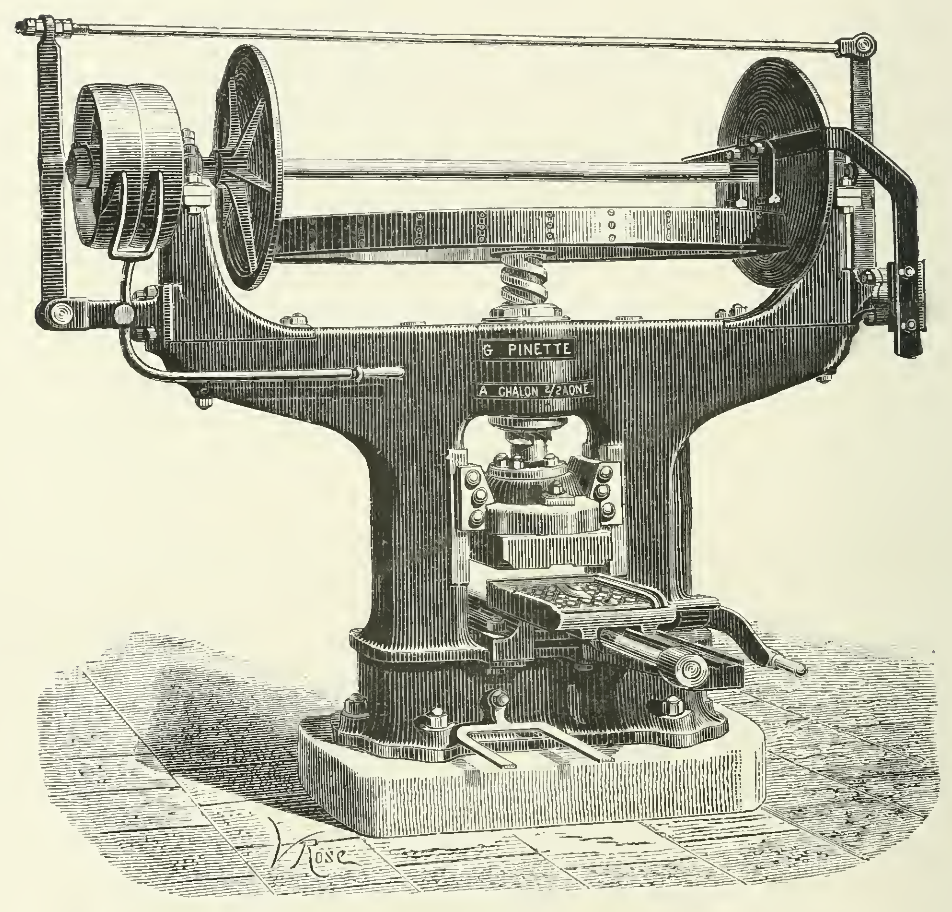



Fig. 22

sont calés deux disques de même métal entourant un volant garni de cuir ; ce volant est monté à l'extrémité d'une vis portant le dessus du moule. L'arbre horizontal prend un mouvement de rotation sous l'action des poulies situées à gauche, les disques tournent en même temps, et quand par un mouvement de levier on fait toucher l'un de ces disques au volant calé sur la vis, il l'entraîne et il fait descendre la vis dans son écrou ; si c'est au contraire l'autre disque

qui touche au volant, la vis tourne en sens inverse et le moule supérieur remonte.

Cette presse produit en 10 heures de 3 500 à 4 000 tuiles. On en fabrique de plus grandes pour la production des tuiles de fortes dimensions.

Les carreaux sont fabriqués au moyen d'une presse qui est représentée fig. 23

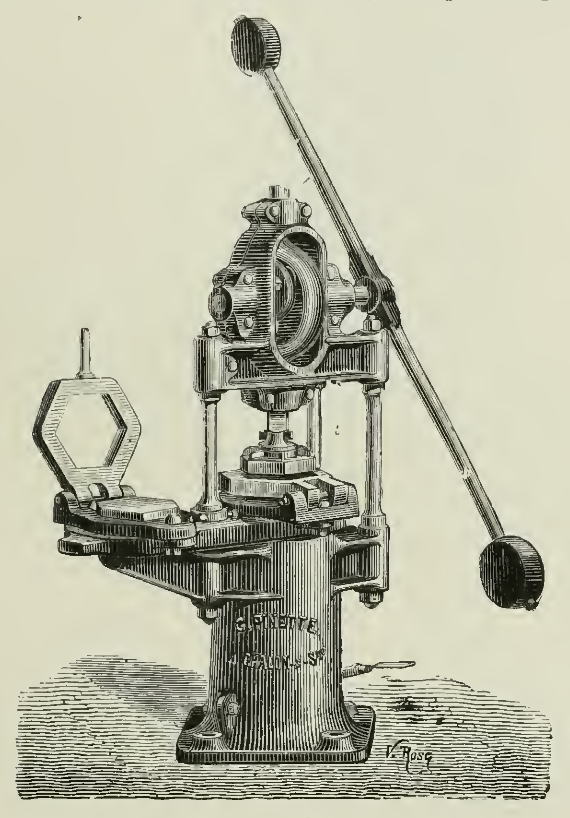



Fig. 23

Cet outil fonctionne à bras et donne des produits sans bavures. Le moule est double ; pendant qu'on presse une galette, un carreau se démoule sur le devant mettant ainsi les ouvriers complètement à l'abri de tout accident.

C'est le dessous du carreau qui reçoit la pression du tampon supérieur, de telle sorte que, s'il doit rester quelques bavures, c'est dans cette partie qu'elles se trouvent ; quant au dessus du carreau, étant formé par le châssis et le fond du moule bien ajustés, il sort parfaitement poli et sans bavures.

Les moules sont disposés pour donner l'inclinaison nécessaire aux côtés des carreaux, ce qui en facilite la pose.

La production de cette presse, qui est en moyenne de 5 000 carreaux par jour, atteint et même dépasse 7 000 dans certaines usines lorsque le personnel est exercé.

Les briques pleines sortant de la machine à étirer ont les dimensions convenables, mais n'ont pas les faces parfaitement polies. Il importe de leur donner ce fini pour satisfaire aux exigences des architectes, tel est le but de l'outil représenté (fig. 24) et qui s'appelle une *rebatteuse.*

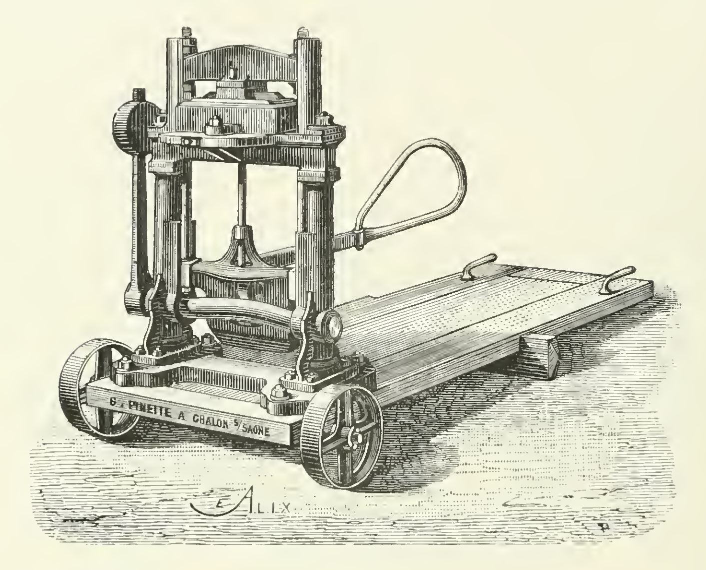



Fig. 24

Il se compose d'un châssis ou cadre en fonte ayant la longueur et la largeur que doit avoir la brique et qui porte en dessous un fond mobile. Au démoulage, ce fond se relève jusqu'au bord du châssis pendant que le tampon supérieur a été relevé également pour laisser passer la brique pressée. Cette dernière est remplacée par une galette de terre qui est poussée à la place de la brique.

Quand la galette a été placée sur ce tampon, on rabat le levier et par un mouvement de came le tampon qui constitue le fond du moule s'enfonce dans le châssis tout en étant suivi par la galette qui est poussée par le tampon supérieur. Le tampon du fond, une fois à fin de course, le mouleur relève le levier, puis le rabat vivement. Il donne deux chocs afin de forcer la terre à remplir tous les vides du moule et la brique formée vient affleurer le dessus du moule ; on le remplace alors par une galette que l'on pousse à sa place et ainsi de suite.

La rebatteuse a tout son mécanisme fixé sur une base en fonte qui le maintient rigoureusement à sa place, tandis que dans les presses du même genre, les mouvements étant fixés directement sur le bois celui-ci travaille par suite des changements de température. Les mouvements sont dérangés, ce qui amène fréquemment des ruptures ou tout au moins une usure rapide. De plus, la rebatteuse représentée (fig. 24) portant sa traverse qui porte le tampon au-dessus du moule parfaitement guidé, les chances d'usure et de rupture se trouvent diminuées.

L'arbre à cames est en acier, l'ensemble est léger, quoique très robuste et peut être manœuvré avec la plus grande facilité.

On peut également employer une rebatteuse mécanique fonctionnant par moteur (fig. 25) et ayant un moule double. La brique brute est posée sur le devant

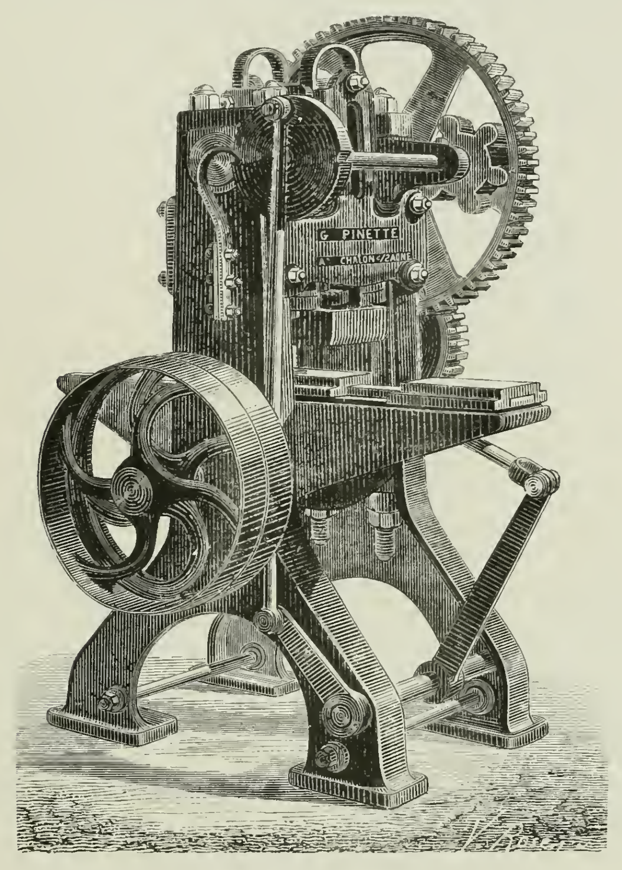



Fig. 25

de la machine, puis elle vient recevoir la pression sous le tampon pendant que, de l'autre côté, une brique est au démoulage. Cette brique démoulée est remplacée par une autre brique brute, l'autre moule vient prendre la place du premier et ainsi de suite.

Deux enfants suffisent pour poser les galettes ou briques brutes et enlever les briques pressées, et le mouvement mécanique remplace un homme.

### 2° *Fabrication en terre molle.*

Voici maintenant la succession des opérations et l'outillage nécessaire pour la fabrication en terre molle.

Les terres arrivant de la carrière sont réduites en petites lames minces, autrement dit sont découpées en menus morceaux, lesquels étant mis en fosses ou en tas peuvent s'imbiber d'eau et se désagréger complètement.

On effectue cette opération à l'aide de *tailleuses* de différents modèles.

La (fig. 26) donne la vue d'une tailleuse à plateau horizontal, pouvant produire, suivant le modèle, en 10 heures de travail, respectivement 15 à 20 mètres cubes ou 25 à 30 mètres cubes. L'arbre vertical auquel on communique un mouvement de rotation à l'aide d'engrenages est armé de lames d'acier ; en face de chacune d'elles est une ouverture par laquelle sortent les lamelles de terre.

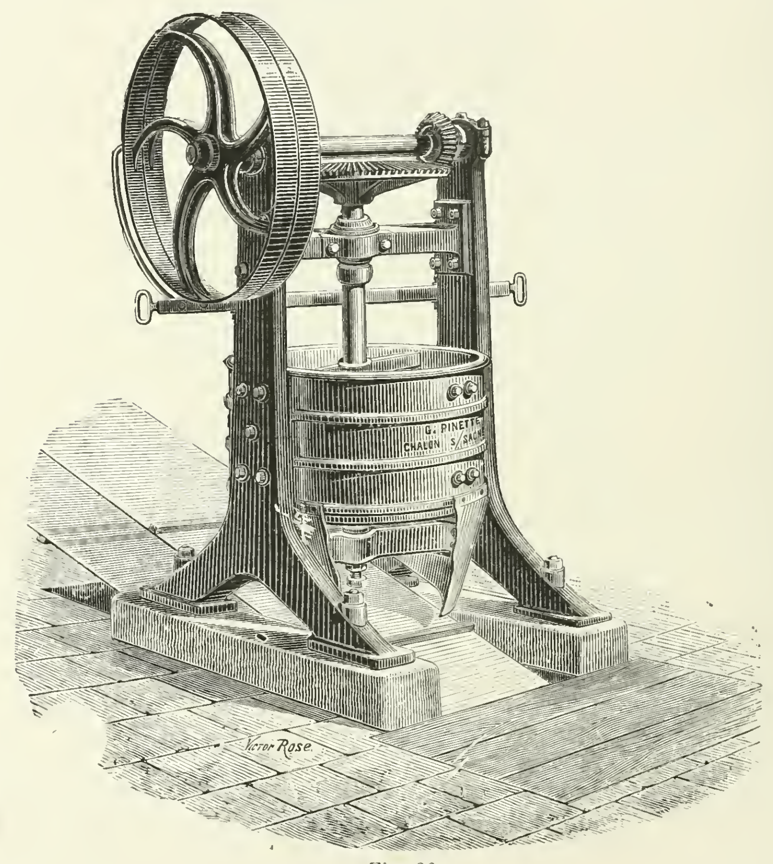



Fig. 26

Les terres taillées sont mises en tas ou en fosses, en couches successives que l'on arrose avec de l'eau, elles se désagrègent et forment une pâte homogène.

Si cette pâte contient des corps étrangers, on les cylindre avant de les malaxer ; dans le cas contraire, on les jette directement dans le malaxeur qui a été décrit plus haut et qui est représenté (fig. 20).

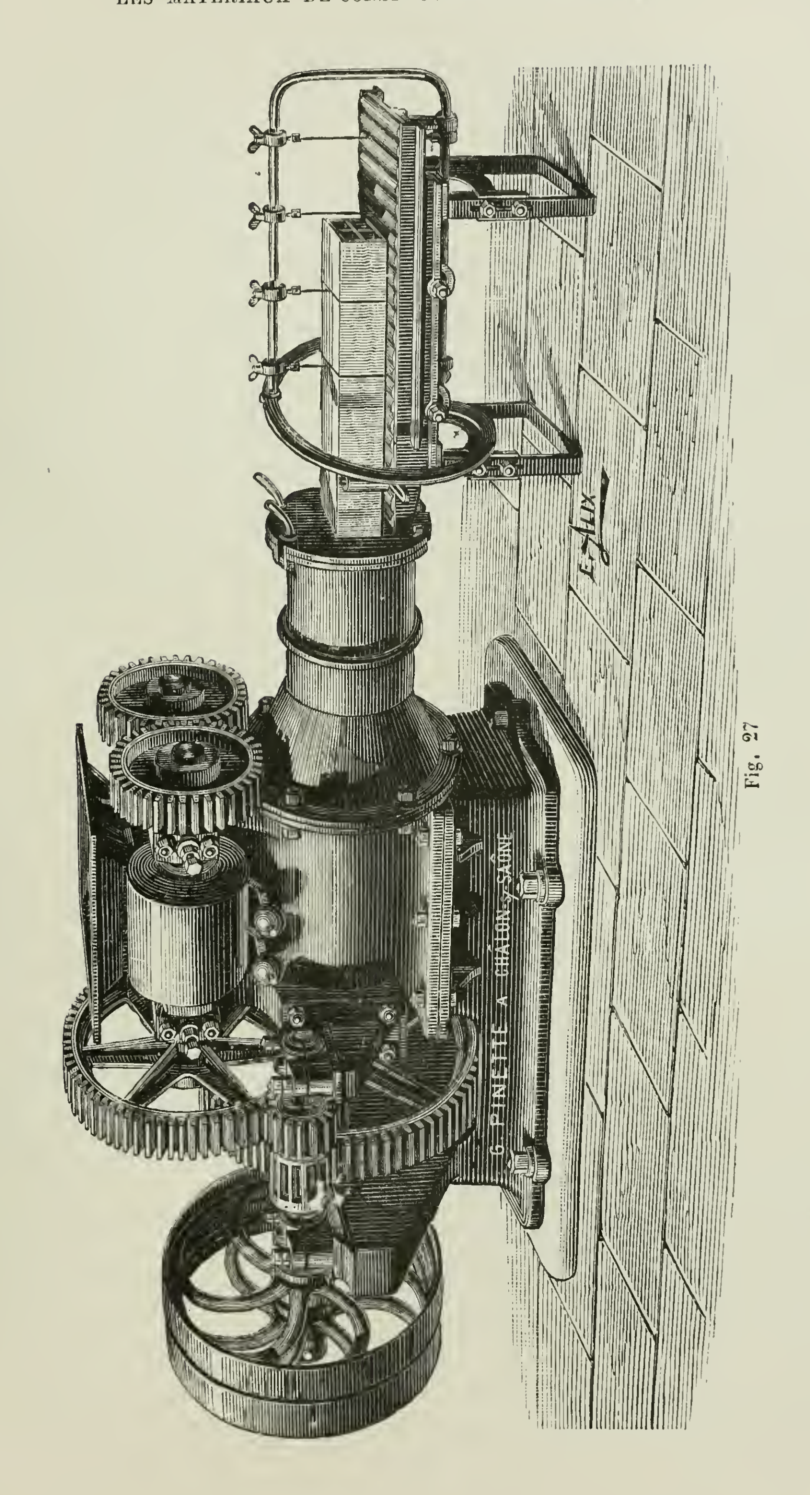



Fig. 27

Les terres malaxées et en pâte molle sont étirées avec une machine qui est représentée (fig. 27). Versées dans la trémie de la machine elles sont prises par une hélice qui les malaxe à nouveau dans une cuve cylindrique horizontale, puis les pousse dans la partie conique de cette même cuve ; finalement elles sortent par la filière fixée à l'extrémité, à l'état de longue bande.

Cette machine est ordinairement surmontée de deux cylindres qui servent dans une certaine mesure à écraser les terres, mais qui ont surtout leur utilité comme distributeurs pour bourrer la terre dans la cuve horizontale ; dans celle-ci, des lames d'hélice sont disposées de manière à en opérer un malaxage parfait avant de la pousser dans la filière. Les palettes qui servent au malaxage, ainsi que l'hélice, sont en *acier moulé.*

La terre étant poussée par une seule hélice, le produit n'est jamais noué ni roulé.

La supériorité de cette machine sur les outils analogues est remarquable, surtout lorsque les terres à travailler n'ont pas été malaxées préalablement, parce qu'elle permet, grâce aux dispositions de la cuve horizontale, d'obtenir une pâte parfaitement homogène, là où d'autres machines ne travaillant qu'imparfaitement la terre, ne donneraient que des produits médiocres. Cette machine s'emploie également comme malaxeur.

La terre sortant de la filière arrive sur un tablier composé d'une série de rouleaux sur lesquels elle glisse ; un cadre armé de fils d'acier se rabat sur la bande et la divise en plusieurs parties.

Les galettes coupées aux dimensions convenables sont prises sur le tablier et posées sur une table où l'ouvrier mouleur les prend pour les poser sur chacun des moules de la presse à cinq pans, dont la figure 28 donne la vue.

Cette machine peut produire environ 5 000 tuiles en dix heures et n'exige que deux gamins pour la servir.

Deux poulies fixes et folles reçoivent le mouvement de la transmission de l'usine et le transmettent par divers engrenages à un arbre coudé en son milieu et imprimant un mouvement rectiligne alternatif de bas en haut à la tige verticale qui porte la matrice ou moule supérieur.

Ce mouvement est combiné avec celui du tambour à cinq pans, de façon que l'une des faces ou moules inférieurs se présente dans la position horizontale et au repos, pendant que le plateau porte-moule supérieur vient presser la galette et former la tuile.

Le mouvement alternatif du tambour est obtenu au moyen d'une bielle actionnée par un bouton de manivelle fixé sur l'un des bras de la roue dentée de droite ; cette bielle commande un encliquetage qui, en remontant, s'engrène dans l'un des cinq crans ménagés dans un disque calé sur le même arbre que le tambour porte-moules et imprime par conséquent à celui-ci un cinquième de tour. Dans son mouvement de descente, l'encliquetage glisse sur le tambour et le laisse au repos.

Dans la fabrication en terre molle, les moules en fonte doivent être garnis de

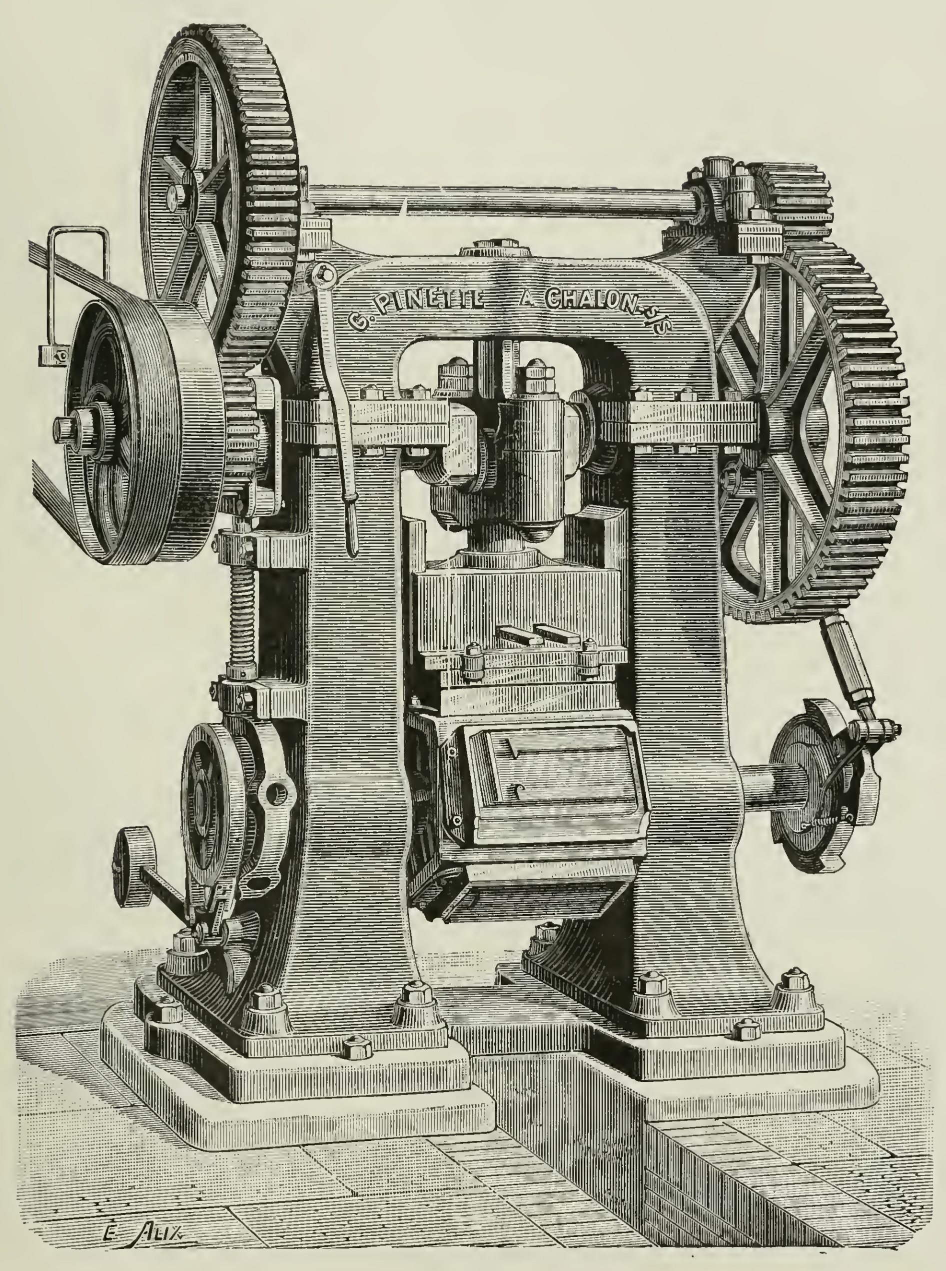



Fig. 28

plâtre intérieurement, afin de faciliter le démoulage. Le garnissage de plâtre se fait d'ailleurs rapidement : une fois gâché il est étendu dans le demi-moule,

puis posé sur une table spéciale ; alors on place la matrice en zinc sur ce demi-moule, puis, au moyen d'une vis, elle est appuyée fortement et elle donne au plâtre la forme exacte que devra avoir l'une des faces de la tuile. La même opération a lieu pour l'autre partie.

La fabrication des briques en terre molle, qui est courante aux environs de Paris, comporte l'emploi d'une machine à étirer; c'est la même qui sert à étirer les briques creuses, les hourdis, etc., et que nous avons décrite plus haut (voir fig. 27).

La maison Pinette en construit trois modèles pour la fabrication des briques pleines de toutes dimensions, briques percées et autres produits, savoir :

Modèle n° 1 produisant 3 000 à 5 000 briques avec une force motrice de 3 chevaux.

Modèle n° 2 produisant 6 000 à 8 000 briques avec une force motrice de 5 chevaux.

Modèle n° 3 produisant 12 000 à 15 000 briques avec une force motrice de 8 chevaux.

Quand on veut transporter la machine à étirer d'un endroit à un autre que l'on vient de choisir, le modèle représenté figure 29, on relève le couvercle de la caisse faisant charnière, on remplit celle-ci de terre que l'on tasse en rabattant plusieurs fois le couvercle, puis on accroche solidement ce dernier, et en

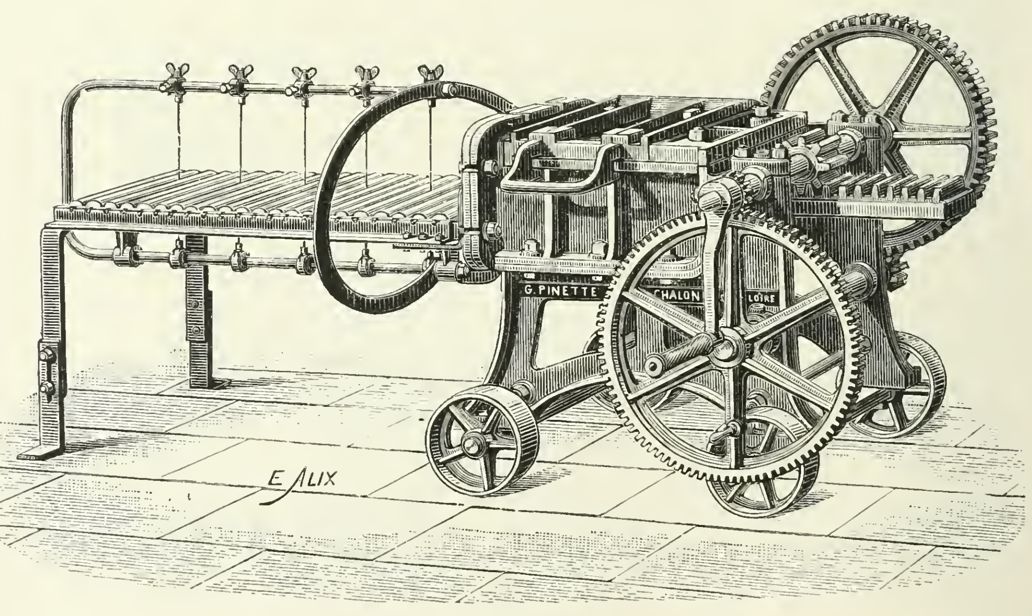



Fig. 29

tournant la manivelle, on fait avancer le piston qui force la terre à sortir de la filière.

La bande de terre arrive sur le tablier où elle est découpée en morceaux de longueur convenable, comme il a été expliqué précédemment.

La figure montre que la machine est montée sur quatre petites roues, ce qui permet de la transporter à une certaine distance de l'usine et de l'installer dans le chantier où les briques doivent sécher.

Un ouvrier suffit à conduire la machine ; il est aidé d'un gamin pour couper et enlever les produits. Le rendement est de 2 à 3 000 briques de Bourgogne suivant les terres.

Les briques qui sortent de la machine ne sont pas d'une régularité parfaite ; elles peuvent cependant être employées telles qu'elles dans la plupart des constructions. Si on veut leur donner des dimensions rigoureusement exactes, il suffit de les passer à une calibreuse du genre de celle qui est représentée (fig. 30).

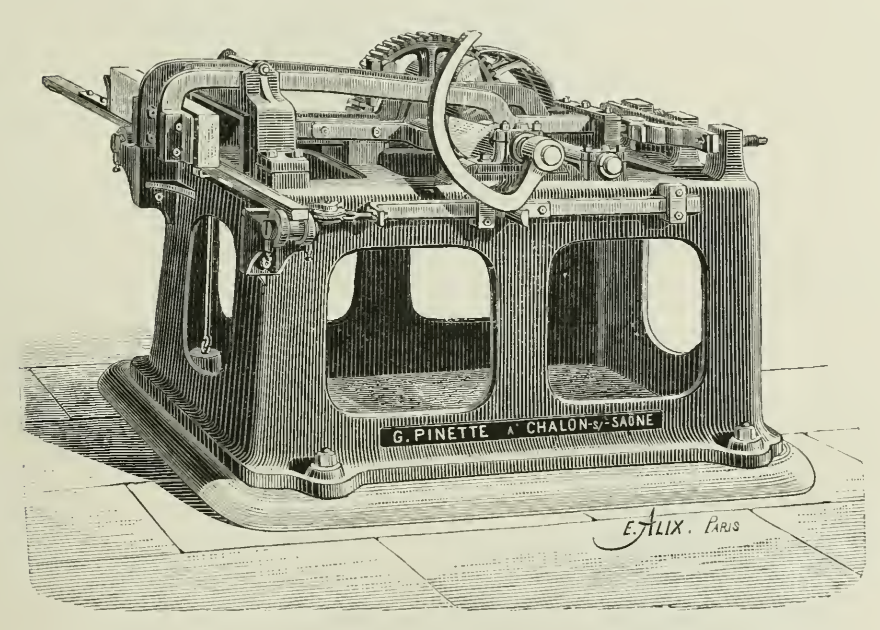



Fig. 30

Les briques sortant de la machine à étirer sont posées sur la planchette qui se trouve sur le devant de la machine et, grâce à un mouvement de cames, cette planchette les amène juste en face de l'ouverture du moule où un tampon vient les enfoncer ; ceci fait, un autre tampon les ramène sur la planchette qui, en se reculant à nouveau pour amener une deuxième brique en face du moule, transporte de l'autre côté celle qui est calibrée et que l'on enlève alors. On obtient ainsi de belles briques, régulières, et dont les angles sont bien formés. La

pression que reçoivent les briques est très faible, mais suffisante pour des briques en terre molle, c'est-à-dire pour la fabrication genre Paris.

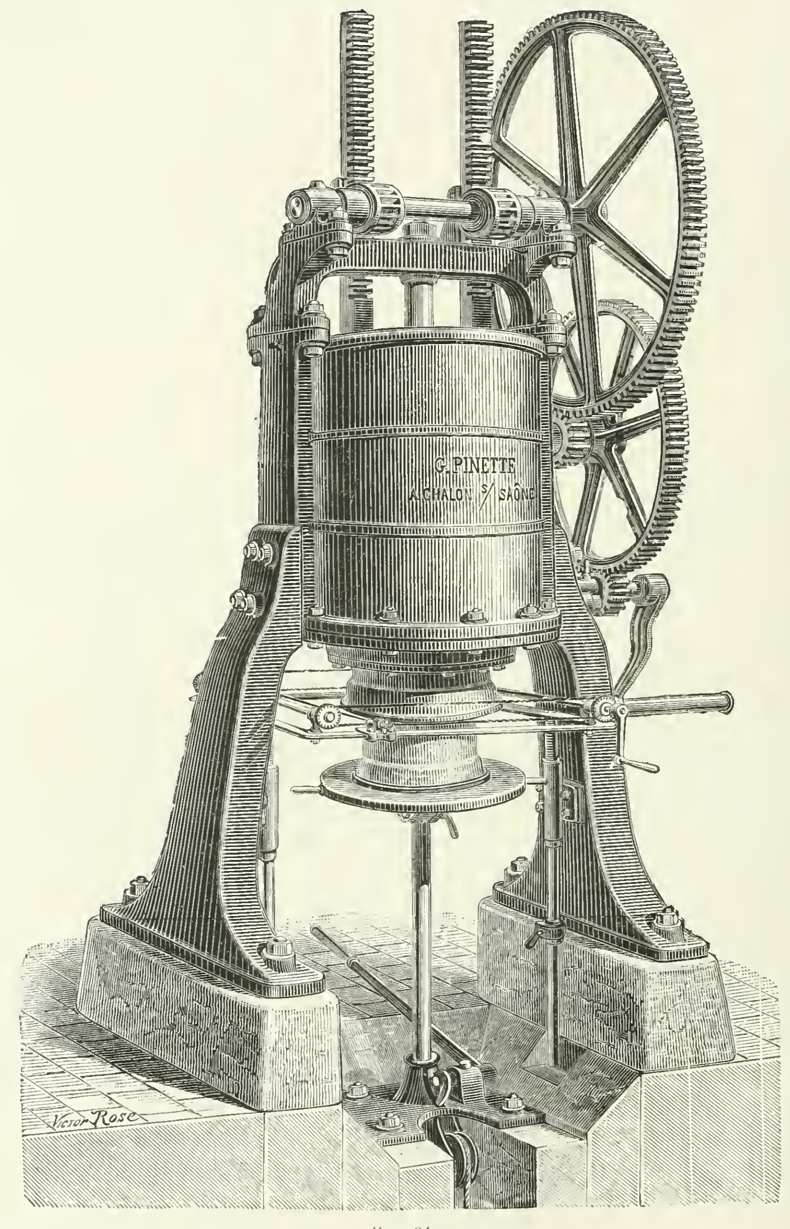



Fig. 31

Il reste à dire quelques mots de la fabrication des tuyaux à emboîtements,

boisseaux, etc., c'est à dire de la poterie de bâtiment qui a pris, depuis un certain nombre d'années déjà, un développement considérable.

Les boisseaux ronds, rectangulaires, les aqueducs, tuyaux pour cheminées et les tuyaux ronds à emboîtement, peuvent se fabriquer en une seule opération et par le premier ouvrier venu, à l'aide de la machine représentée fig. 31 et qui est construite par M. Pinette pour fonctionner à bras ou au moteur.

Cette machine à étirer se fait à caisse ronde ou à caisse rectangulaire.

La machine à caisse ronde convient principalement pour faire les tuyaux ronds avec ou sans emboîtement.

On peut obtenir jusqu'à $0^{m},30$ de diamètre intérieur après cuisson et au delà en adaptant une bouche expansive.

La machine à caisse rectangulaire convient surtout à étirer les boisseaux rectangulaires, aqueducs, wagons, etc.

Ces deux machines sont faites avec les mêmes organes et il suffit de jeter les yeux sur la figure pour comprendre leur fonctionnement.

Le mouleur se tient du côté du levier de mise en marche.

Du côté opposé au mouleur se trouve une porte que l'on ouvre pour remplir la caisse; elle est ensuite fermée, puis fixée solidement, et l'ouvrier fait descendre le piston en tournant la manivelle (dans le cas d'une machine fonctionnant à bras, comme celle qui est représentée sur le dessin). La terre est refoulée dans l'interieur de la caisse et s'échappe par la filière.

A la sortie de la filière, la terre est reçue par un plateau qui, sous l'action du poids dont il se trouve chargé, se met à descendre. Quand le tuyau a la longueur voulue, le mouleur agit sur une petite manivelle qui fait manœuvrer le porte-fil et coupe la pièce.

Ce qui caractérise cette machine, c'est sa grande solidité en même temps que sa précision. L'intérieur des caisses, comme les pistons, est ajusté soigneusement, de façon à éviter les trépidations qui disloquent la plupart des machines similaires. Les produits peuvent sortir d'une plus ou moins grande longueur en dehors de la filière; le coupeur est disposé de manière à les couper toujours à une longueur uniforme et régulière. Enfin, chose essentielle, le noyau formant l'intérieur des produits est supporté par un grand boulon central qui laisse passer la terre tout autour, sans la retenir plus d'un côté que de l'autre; si le noyau est supporté par une traverse horizontale qui découpe la terre à la sortie, comme elle n'a pas toujours le temps de se ressouder complètement (la pression n'étant pas aussi grande que dans la machine à cylindres), il y a des inégalités de retrait qui occasionnent une grande quantité de déchets au séchage et à la cuisson. Avec la machine de M. Pinette, ce grave inconvénient n'existe pas.

Avec une machine à bras on peut faire jusqu'à 600 boisseaux par jour.

A côté des machines dont nous venons de donner une description succincte

on trouve dans une usine céramique bien organisée une série d'engins ayant pour objet de réduire le travail manuel au strict nécessaire : Des toiles sans fin conduisent les terres du dépôt aux cylindres; des cylindres au malaxeur; ce sont encore des toiles sans fin qui distribuent les galettes de terre aux mouleurs, qui emmènent les tuiles, briques ou carreaux pressés aux séchoirs. Des descenderies sont utilisées pour conduire les produits aux portes des fours ; des monte-charges enlèvent directement les produits terminés pour les empiler aux différents étages de la fabrique, etc., etc. La description de tout ce matériel de manutention serait intéressante, mais il suffit de cette simple indication pour faire comprendre à quel point les usines céramiques pour le bâtiment sont actuellement outillées.

Grâce aux progrès réalisés depuis une vingtaine d'années surtout, dans la construction des machines destinées à la fabrication des produits céramiques du bâtiment, cette industrie a pris un développement considérable dans certaines contrées favorisées sous le rapport des gisements d'argile, et cela grâce aux moyens de transport qui, devenus chaque jour plus nombreux, ont permis à ces localités d'étendre leurs débouchés.

Nous disions que les plus riches et les plus importants gisements d'argile en France sont, sans contredit, ceux de Bourgogne. On ne peut évaluer à moins de 300 000 pièces par jour la production des seules usines de Saône-et-Loire. La maison Pinette leur fournit la majeure partie des machines; elle possède des ateliers de construction qui, avec leurs dépendances, occupent une superficie d'environ 20 000 mètres carrés; le personnel comprend plus de 200 ouvriers.

2° *Usine Bruno.* — M. J. Bruno, constructeur à Mâcon (Saône-et-Loire), établit également, sur divers types, des machines pour tuileries et briqueteries.

| DÉSIGNATION DES MACHINES<br>TERRE DURE, TERRE MOLLE | POIDS<br>APPROXIMATIF | FORCE<br>en<br>CHEVAUX |
|---|---|---|
| | kilog. | chevaux |
| Cylindre à terre de 0,600 diamètre sur 0,500 longueur (bâtis fonte). . . . . . . | 2.000 | 3 |
| Cylindre à terre de 0,500 diamètre sur 0,450 longueur (bâtis fonte). . . . . . . | 1.800 | 2 $^1/_2$ |
| Malaxeur avec commande en dessous, hauteur du tonneau 0,870, diamètre 0,750. . . . | 1.800 | 4 |
| Malaxeur avec commande en dessous, hauteur du tonneau 0,800, diamètre 0,600. . . . | 1.600 | 4 |
| Malaxeur au cheval. . . . . . . . . . | » | » |
| Presse à carreaux moulant sans bavures avec deux moules . . . . . . . . . . . | 450 | A la main |
| Presse à carreaux ordinaire avec un moule. . | 200 | d° |
| Presse à rabattre. . . . . . . . . . | 350 | d° |
| Presse à tuiles, à bras. . . . . . . . . | 1.000 | d° |
| — mécanique. . . . . . . . | 3.000 | 2 |
| Machine à boisseaux et à tuyaux, forme revolver | 2.000 | A la main |
| Moules 13 et 16 au mètre $^1/_2$ tuiles. . . . | » | » |
| Moules Rives, abouts, faîtières, arêtiers, etc. | » | » |
| Élévateurs à brouettes pour deux étages. . . | » | » |
| Mouvement de toile sans fin. . . . . . . | » | » |
| Pompe pour presse hydraulique à déclanchement actionnant de 1 à 4 presses à 80 tours. | 700 | 1 |
| Poulies de $0^m,60$ sur $0^m,12$ de largeur. . . | » | » |

## II. — *Ciments.*

Parmi les broyeurs exposés, il faut citer :

Les appareils Weidnecht-Loizeau ;

Le broyeur centrifuge Jean-Marie ;

Le pulvérisateur cyclone.

Dans ce dernier modèle, deux hélices tournant en sens contraire et à très grande vitesse appliquent le mouvement de l'air au broyage, les matières étant violemment projetées contre les hélices et contre les parois de l'appareil.

Le broyeur cyclone est construit sur trois dimensions.

| | n° 1 | n° 2 | n° 3 |
|---|---|---|---|
| Diamètre des hélices . . . . | 0.305 | 0.610 | 0.900 |
| Force motrice en chevaux. . . | 8 à 15 | 20 à 35 | 35 à 50 |
| Rendement en poussière par heure | 200 à 800 | 400 à 2500 | 1000 à 4000 |
| Prix de l'appareil en France . . | 5.000 | 7.500 | 10.000 |

Le type n° 2 donne 1400 kilogrammes à l'heure de ciment pulvérisé en donnant 60 % de résidus au tamis de 200 =

# ANNEXE

## Emplois des divers matériaux dans les Constructions

### I. — *Usine A. Dupont et Cie à Beauvais.*

#### MAGASIN POUR LE SÉCHAGE DES BOIS

Le bâtiment construit dans la manufacture de MM. A. Dupont et Cie, a été édifié sur un terrain marécageux, peu stable ; cette construction incombustible dans ses parois extérieures comprend un étage destiné à porter de très lourdes charges.

La maison Dupont a toujours un approvisionnement de bois indigènes et exotiques dont la valeur dépasse fréquemment 100 000 francs. Il y a quelques années, ces matières premières étaient placées sous des hangars non fermés, à proximité du corps principal de l'usine ; un incendie ayant détruit l'un de ces hangars ainsi que les marchandises qu'il renfermait, on les a reconstruits en les fermant par des parois incombustibles ; ils sont disposés de façon à permettre la prompte dessiccation des bois (pl. 21-22, 23-24.)

La superficie est de $41^{m},30 \times 12^{m},10$, le poids des bois à emmagasiner au premier étage est évalué à 500 000 kilogrammes ; le plancher devait être capable de résister à une charge moyenne de 1000 kilogrammes par mètre carré. Les colonnes d'appui du plancher ont été réparties de manière à reporter sur chacune d'elles 15 000 kilogrammes environ.

Les remblais de $2^{m},50$ de hauteur reposent sur le sol d'une prairie marécageuse dont le terrain d'alluvions a 3 mètres d'épaisseur ; le gravier solide se trouvait ainsi à $5^{m},50$ du sol nouveau. Pour éviter les dépenses importantes qu'aurait entraînées l'emploi de pilotis, on a établi sous les colonnes, des pylones de

fondations avec semelles très larges afin de répartir la charge sur une grande surface, tout en reposant sur les remblais.

Ces pylones sont composés :

1° D'une couche de sable pilonné et mouillé d'un lait de chaux hydraulique de 1m,20 en carré sur 0,20 d'épaisseur ;

2° De racinaux en bois formés de $\frac{1}{2}$ traverses de chêne brûlées à la surface et posées les unes contre les autres ;

3° D'un béton hydraulique (silex, sable ferrugineux et chaux de l'Aube) de même surface et de 0,30 d'épaisseur ;

4° D'un pylone en briques dures ayant la forme d'une pyramide quadrangulaire tronquée de 0m,90 à la grande base et de 0m,45 à la base supérieure. Le béton ayant une superficie de 1m,44 carré et portant 15 000 kilogrammes, chaque centimètre carré ne porte qu'un kilo à peu près.

Les pylones du pourtour sont reliés par de petits arcs en briques sur lesquels sont montés les murs extérieurs en briques. On a évité l'emploi de cintres mobiles, en découpant le sol du remblai à la surface, en forme d'arcs dressés et pilonnés qui ont reçu la douelle des arcs en briques.

Les colonnes supportent des poutres fer à double I, qui servent en même temps de tirants pour les pans de fer des parois. Ces parois ne portent que le poids propre des fers et des briques qui les composent.

Le poids de la toiture repose également sur les colonnes.

Malgré les lourdes charges de l'intérieur du magasin, aucun mouvement apparent ne s'est produit, depuis qu'il est construit, ni dans les colonnes, ni dans les planchers, la toiture et les parois.

Les pans des façades et des pignons sont composés de fer en U et en I assemblés par des cornières, boulons et rivets. Les poteaux corniers des angles sont établis avec un assemblage des mêmes fers qui donne la rigidité qu'exigerait la construction en ce point.

Les vides sont garnis par des briques de 0,08 × 0,105 × 0,22 qui ont été moulées spécialement pour épouser les ailes des fers en U et en I. Pour donner une stabilité parfaite aux poteaux, on les a engagés à la base dans des sabots en fonte. Au moyen d'un coulis, on obtient ainsi un encastrement complet. L'emploi de ces sabots du prix de 0 fr. 20 le kilogramme a permis d'éviter la pose de dés en pierre dure.

Un mur de refend en briques divise le magasin en deux parties ; il est prolongé par des redents au-dessus de la toiture de manière à empêcher toutes communications des deux sections en cas d'incendie.

Il est absolument interdit d'y fumer.

Ce mur de refend est percé de baies qu'il est possible de fermer par des portes roulantes garnies de tôle de fer. Les pignons sont fermés également par des

portes en tôle. Une voie ferrée traverse le magasin d'un bout à l'autre, et reçoit les wagonnets de service du magasin. Deux ouvertures percées au-dessus dans le plancher du grenier facilitent les manipulations.

Le rez-de-chaussée est éclairé par des baies à petits fers vitrées dans chacune des travées. Le grenier est éclairé et ventilé dans les parois par des persiennes avec lames en tôle et dans la toiture par des châssis à tabatière.

Le plancher du grenier est constitué par des solives ou madriers de sapin (0,30 d'axe en axe), supportant un plancher de 0,022 d'épaisseur presque jointif.

Il résulte de ces dispositions que les bois empilés sont soumis à la dessiccation lente nécessaire pour éviter que les bois ne se fendent.

L'ouverture ou la fermeture des châssis vitrés, l'obstruction de tout ou partie des persiennes, selon la direction et l'intensité du vent facilitent aussi, dans une certaine mesure, la dessiccation des bois.

*Infrastructure.*

| | | |
|---|---|---|
| Fondations, terrassements, sable, béton, maçonneries des briques des pilons et des arcs . . | 2617 fr. 60 | 2989 fr. 95 |
| Bois de chêne pour racinaux sous le béton . . | 372 fr. 35 | |

*Superstructure.*

| | | | |
|---|---|---|---|
| Maçonneries de briques des solives des pans de fer, ainsi que du refend séparatif . . . . | | 20000,45 | 18510 50 |
| Fers, fontes, tôles, fers spéciaux, cornières, rivets et boulons . . . | 5848,43 | 8178,93 | |
| Mains d'œuvre diverses pour la façon et le levage de la partie métallique y compris les fers forgés, les portes etc. . . . . . . . . . . | 2330,50 | | |
| Charpente du toit . . . . . . . . . . | | 2046 »» | |
| Charpente du plancher, menuiseries diverses, échelles etc . . . . . . . . . . . . | | 3882 »» | |
| Couvertures en tuiles à recouvrement d'Auneuil et châssis à tabatière . . . . . . . . | | 2008,25 | |
| Gouttières et tuyaux de descente . . . . . | | 202,02 | |
| Peinture et vitrerie . . . . . . . . . . | | 192 85 | |
| Total Général. . . | | | 21500 45 |

Ce prix correspondant à une dépense totale de 43 francs par mètre carré.

Soit 6 francs pour l'infrastructure et 37 francs pour la superstructure.

En totalisant la superficie du rez-de-chaussée et du premier étage, la dépense par mètre carré utilisé est réduite à 22 fr. 50 par mètre carré, soit 3 francs pour l'infrastructure et 18 fr. 50 pour la superstructure.

Le poids des fontes employées a été de 5 575 kilogrammes au prix de 15 francs les 100 kilogrammes, celui des fers de toutes espèces, fers spéciaux, boulons, tôles a été de 20 009 kilogrammes au prix variant de 16 à 26 francs les 100 kilogrammes.

Les cours des métaux étaient peu élevés en 1889 lors de la construction.

La main-d'œuvre pour levage et façon des fontes peut-être évaluée en moyenne à 3 francs les 100 kilogrammes. Celle des fers et tôles de toutes espèces à 10 francs par 100 kilogrammes.

Le travail a été fait par les ouvriers de l'usine.

Les maçonneries de l'infrastructure ont été exécutées par l'entrepreneur Bertin. Celles de la superstructure des arcs qui exigeait une grande perfection, ont été exécutées par le maçon de l'usine avec l'aide de quelques ouvriers en journée.

La charpente du toit a été exécutée par l'entrepreneur Daguincourt au prix de 95 francs le stère, y compris levage, plus la pose des ferrements des fermes.

Le plancher a été exécuté par les menuisiers de l'usine; le solivage est revenu à 56 fr. 50 le stère pose comprise, le plancher en sapin de 3$^{e}$ choix à 1 fr. 71 le mètre carré tout compris.

La couverture en tuiles, fourniture et la pose des châssis à tabatière a été confié à la maison Collin-Muller, d'Auneuil.

L'exécution a été suivie par M. Duhaut, dessinateur sous la direction de M. Lhuillier, architecte, auteur du projet.

---

### *Atelier avec murs en briques et charpente en bois et fer, usine de brosserie et tabletterie de MM. A. Dupont et C$^{ie}$, à Beauvais.* (Pl. 19-20, 21-22).

I. *Description.* — Un atelier a été construit récemment chez MM. A. Dupont et C$^{ie}$ par MM. E. et P. Sée, ingénieurs-constructeurs de Lille dans des conditions exceptionnelles d'économie bien que présentant toutes garanties de solidité et de durée. Il couvre une surface totale de 3 000 mètres carrés environ.

La disposition adoptée permettra de prolonger le bâtiment quand il conviendra en ajoutant de nouvelles fermes à la suite dans chaque travée. Dans ce but, des colonnes supportent la charpente près du mur latéral; ce mur forme cloison et peut être facilement enlevé.

La charpente se compose de 10 travées de 7$^{m}$,99 de portée et de 37$^{m}$,885 de longueur supportées chacune par six colonnes creuses en fonte de 0$^{m}$,140 de diamètre extérieur et de 4 mètres de hauteur avec chapiteaux à consoles.

Les colonnes sont reliées par des poutres en fer I de 300 × 130 éclissées bout à bout qui constituent des poutres continues.

Chaque travée comprend 18 fermes en bois avec tirant en fer espacées de 2$^{m}$,08 d'axe en axe.

Les pannes de 170 × 70 sont espacées en moyenne à 2$^{m}$,25.

Les chevrons de 90 × 65 id. id. 0$^{m}$,42.

Le lattis est en bois.

Les tuiles à emboîtement proviennent d'Auneuil (Oise).

Les parties vitrées sont formées de carreaux en verre demi-double posés à bains de mastic sur fer ⊥.

Les chêneaux sont en tôle galvanisée de 1 millimimètre 1/2 d'épaisseur ; les chêneaux sont réunis les uns aux autres au moyen de rivets en cuivre.

La toiture est revêtue à l'intérieur d'un plafond en mortier.

Le dallage se compose d'une chappe en ciment de Portland et sable siliceux sur forme en béton.

Le coût de la construction dans son ensemble, y compris les fondations, les murs en briques du pourtour, les tuyaux de descente, ressort au prix de *28 fr. 25 le mètre superficiel.*

Entre les magasins nouveaux et l'atelier ancien, il existe un passage de *7^m,25 de largeur* et *80 mètres de longueur* au-dessus duquel MM. P. et E. Sée ont établi une charpente en fer avec lattis en fer, couverture en tuiles (pl. 37 et 38), chêneaux en tôle galvanisée. Le prix de cette charpente, y compris la couverture a été établie à raison de *14 fr. 50 le mètre carré de surface horizontale couverte.*

Il y a lieu de remarquer que la dépense s'applique à la charpente seule ; le prix des murs d'appui n'est pas compris dans le décompte.

La façade en briques et pierres a été étudiée par *M. Victor Lhuillier, architecte.* La mise en place de la charpente a été suivie par M. Seigre, ingénieur, assisté de M. Duhaut, dessinateur.

II. *Calcul des pièces de la charpente.* — Un calcul rapide permettra de bien saisir l'heureuse disposition de cette charpente :

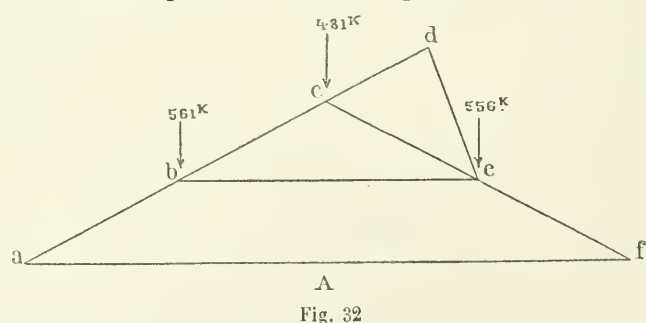



Fig. 32

1° *Répartition des charges effectives.* — Les charges se répartissent ainsi (fig. 32) :

| | | |
|---|---|---|
| Charge de la couverture par mètre carré. | Tuiles . . . . | 45^k. |
| — — — | Neige et vent. | 25^k. |
| — — — | Charpente . . | 20^k. |
| — — — | Plafonds. . . | 30^k. |
| | | 120^k. |
| | Écartement. . . . . . . | 2^m,083 |

| | |
|---|---|
| De *a* en *b* le poids à supporter est : | |
| $2^{m},25 \times 2^{m},08 \times 120^{k},00 = 562^{k},00$ dont moitié sur *b* = $281^{k}$ | $562^{k}$ en *b* |
| De *b* en *c* le poids à supporter est : | |
| $2^{m},25 \times 2^{m},08 \times 120^{k},00 = 562^{k},00$ dont moitié sur *b* = $281^{k}$ | |
| et moitié sur *c* = $281^{k}$ | $481^{k}$ sur *c* |
| De *c* en *d* le poids à supporter est : | |
| $1^{m},60 \times 2^{m},08 \times 120^{k},00 = 400^{k},00$ dont moitié sur *c* = $200^{k}$ | |
| et moitié sur *d* répartie en *c* = $200^{k}$ | $556^{k}$ en *e* |
| De *d* en *e* partie vitrée : | |
| $1^{m},80 \times 2^{m},08 \times 25^{k},00 = 94^{k},00$ . . . . . . sur *e* — $94^{k}$ | |
| De *d* en F le poids à supporter est : | |
| $2^{m},10 \times 2^{m},08 \times 120^{k},00 = 524^{k},00$ dont moitié sur *e* = $262^{k}$ | |

2° *Répartition des charges adoptées pour les calculs.* — En exagérant par mesure de prudence les chiffres ainsi obtenus, on adopte pour déterminer les dimensions à donner aux pièces, les valeurs suivantes (fig. 33) :

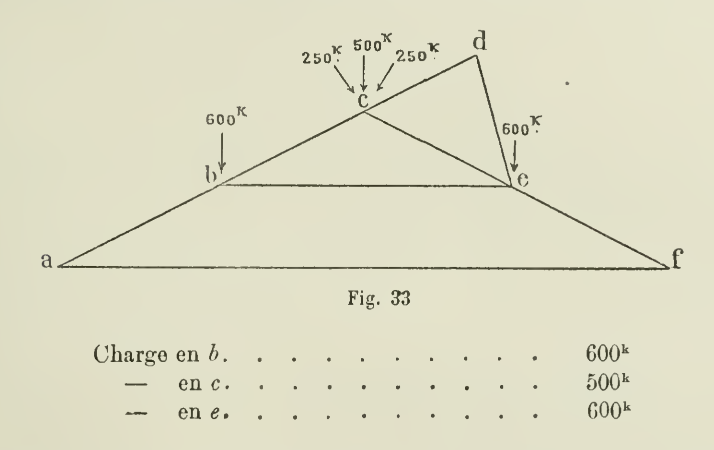



Fig. 33

| | |
|---|---|
| Charge en *b*. . . . . . . . . . . . | $600^{k}$ |
| — en *c*. . . . . . . . . . . . | $500^{k}$ |
| — en *e*. . . . . . . . . . . . | $600^{k}$ |

3° *Epure des efforts réels.* — On peut alors tracer l'épure de la répartition des efforts en tenant compte des conditions d'équilibre en chaque point d'articulation (fig. 34).

Par l'effet du choix des valeurs attribuées aux charges, la ferme est considérée comme symétriquement chargée. Les réactions en *a* et *f* sont égales et faciles à trouver sans qu'il soit nécessaire de recourir au polygone funiculaire.

En *a*, l'équilibre a lieu entre la réaction de 850 kilogrammes et les forces intérieures agissant suivant *af* et *ab*. En construisant le triangle des forces, on trouve que l'entrait subit en *a* une tension égale à 1 700 kilogrammes et l'arbalétrier une compression égale à 1 900 kilogrammes.

En *b*, l'équilibre a lieu entre la charge de 600 kilogrammes et les forces intérieures agissant suivant *ab*, *be*, *bc*, *ab* est connu, il est, par suite facile de construire le polygone des quatre forces, connaissant deux d'entre elles en grandeur,

direction et sens et les directions des deux centres. On trouve ainsi que le faux-entrait *bc* subit une compression en $b = 1\,200$ kilogrammes que la partie *bc* de l'arbalétrier subit une compression en $b = 570$ kilogrammes. Toutes les pièces travaillent par compression, et par suite dans les meilleures conditions.

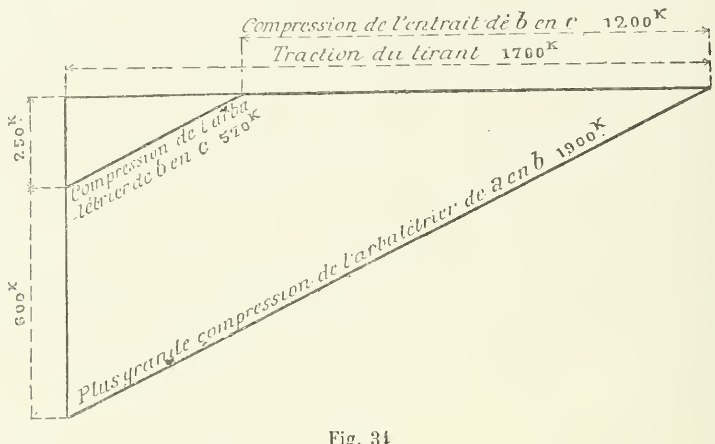



Fig. 34

4° *Calcul de la section de l'arbalétrier en bois.* — Le sapin s'écrasant sous une pression de 600 kilogrammes par centimètre carré, le coefficient de sécurité sera 60 kilogrammes.

En appliquant la formule $N = \frac{60 \times S}{1 + 0{,}0015 \times r^2}$

dans laquelle

N = charge que peut supporter la pièce.
S = surface de la section en centimètres carrés $= 18 \times 6{,}5 = 117$.
$r$ = rapport entre la longueur et le plus petit côté de la section $\frac{2{,}10}{0{,}065} = 32$

$$M = \frac{pl^2}{10} = \frac{6.500 \times 505}{10} = 3.672{,}500$$

la charge réelle étant de 19 000 kilogrammes, le travail sera de $\frac{1909}{117}$

tandis que $N = \frac{60 \times 117}{1 + 00015 \times 32} = \frac{7020}{1 + 00015 \times 1024} = \frac{7020}{2536} = 2\,768$ ks.

5° *Calcul de la section de l'entrait.*

Section des 2 entraits :

$$S = 15 \times 6{,}4 = 96 \text{ cent. carrés.}$$

Rapport de la longueur au plus petit côté $r = \frac{4.00}{0134} = 30.$

La charge réelle étant de 1 200 kilogrammes, le travail par centimètre carré sera $= \frac{1200}{96}$

Tandis que $N = \frac{60 \times 96}{1 + 00015 \times 30^2} = \frac{5760}{1 + 00015 \times 30^2} = \frac{5760}{1 + 135} = 2461$ k.

6° *Calcul de la section de la poutre longitudinale.* — La poutre longitudinale peut être considérée comme une poutre *continue* reposant sur *quatre* appuis.

On a

Le moment d'inertie du fer $I = 300 \times 130 \times 10 \frac{I}{N} = 000\,065\,232$, il travaille donc à $\frac{3\,672\,5}{000\,065\,202} = 5\,600\,000$ ou 5 k. 6 par millimètre carré.

7° *Tirant en fer.* — Le tirant en fer rond de 25 millimètres de diamètre travaille à la flexion, à raison de 3 k. 500 par millimètre carré de section, l'effort étant de 1 700 kilogrammes et la section de 491 millimètres carrés.

## II. — *Pavillon de la Compagnie de L'Horme.*

La Compagnie des fonderies et forges de L'Horme, chantiers de la Buire avait édifié le long de l'avenue de La Bourdonnais, un pavillon très remarquable dont nous donnons un plan et une élévation. Ce pavillon, dont le prix s'est élevé à 25 000 francs, était en fer avec remplissages en briques. Il abritait les différentes machines construites par la Société de L'Horme (pl. 23-24).

## III. — *Produits isolants Ed. Lefèvre.*

Nous avons dit au chapitre sur les Bois (chapitre VII), que les produits de M. Garnot et de la Société *La Subérine* fournissaient l'emploi de matériaux mauvais conducteurs de la chaleur et du son, d'une extrême légèreté, difficilement inflammables et imputrescibles.

Il convient de signaler également qu'une autre matière qui a toutes les propriétés du liège et que l'on désigne sous le nom de *simili-liège*. Elle est fabriquée au moyen de la coque de Sphaïgne.

Le poids spécifique de ce produit est de 0,095, tandis que le liège pèse 0,240. Il est meilleur isolant et moins coûteux.

*Briques.* — La Maison Ed. Lefèvre, possesseur d'un brevet d'invention relatif à la mise en œuvre du simili-liège, fabrique des briques de 0,22 × 0,11 × 0,05 et des demi-briques de 0,22 × 0,11 × 0,05. Ces briques peuvent être recouvertes d'un enduit en plâtre et employées alors pour former les cloisons des

MINISTÈRE
DES
TRAVAUX PUBLICS

ÉCOLE NATIONALE
DES
PONTS & CHAUSSÉES

LABORATOIRE

4521

# EXTRAIT DU

## 1° ESSAIS

| | DIMINUTION D'ÉPAISSEUR EN MILLIMÈTRES SOUS UNE CHARGE PAR | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $1^k$ | *a* | $2^k$ | *a* | $3^k$ | *a* | $4^k$ | *a* | $5^k$ | *a* | $6^k$ |
| *1° Briques* | | | | | | | | | | | |
| 1re brique. . . | $2^m/^m$ | $0^m/^m,5$ | $4^m/^m$ | $1^m/^m$ | $6^m/^m,5$ | $2^m/^m,5$ | $10^m/^m$ | $5^m/^m$ | $13^m/^m5$ | $7^m/^m,5$ | $16^m/^m$ |
| 2e brique . . . | 3 | 1 | 4 | 2,5 | 7 | | 10 | | 13 | | 15 |
| Moyennes. . . | 2,5 | 0,75 | 4 | 1,75 | 6,75 | 2,5 | 10 | 5 | 13,25 | 7,5 | 15,5 |
| *2° Briques cassées en deux morceaux* | | | | | | | | | | | |
| 3e brique. . . | $2^m/^m,5$ | $0^m/^m,5$ | $5^m/^m,5$ | | $12^m/^m$ | | $18^m/^m$ | | $21^m/^m5$ | $12^m/^m$ | $24^m/^m$ |
| 4e brique . . | 2,5 | 0,5 | 6,5 | | 10 | | 13,5 | | 16,5 | 8 | 20,5 |
| Moyennes. . . | 2,5 | 0,5 | 6 | | 11 | | 15,75 | | 19 | 10 | 22,25 |

## 2° ESSAIS A LA RUPTURE PAR FLEXION

0,10

0,20

Fig. 35

| *1° Briques telles quelles sans avoir été pressées.* | CHARGE TOTALE ayant produit la rupture |
|---|---|
| 1re brique. . | $95^k$ |
| 2e brique. . . | $30^k$ (texture moins fibreuse que la précédente.) |
| Moyenne. . . | $62^k,5$ |

| *2° Briques ayant été pressées sous une charge de $16^k,5$ par* mcq. | CHARGE TOTALE ayant produit la rupture |
|---|---|
| 3e brique. . . | $53^k$ |
| 2e brique. . . | 70 |
| Moyenne. . . . . . | $61^k,5$ |
| Moyenne générale. . | $62^k,0$ |

## *REGISTRE DES ESSAIS*

A L'ÉCRASEMENT

POUR UNE BRIQUE PRESSÉE ENTIÈRE A PLAT
CENTIMÈTRE CARRÉ DE .

| $a$ | $7^{k}$ | $a$ | $8^{k}$ | $a$ | $9^{k}$ | $a$ | $10^{k}$ | $a$ | $16^{k},5$ | $a$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *entières.* | | | | | | | | | | |
| $10^{m}/^{m}$ | $19^{m}/^{m}$ | $11^{m}/^{m}$ | $22^{m}/^{m}$ | $15^{m}/^{m}$ | $25^{m}/^{m}$ | | $27^{m}/^{m}$ | $19^{m}/^{m}5$ | $33^{m}/^{m}$ | $24^{m}/^{m}$ |
| 7 | 18 | | 21 | 13 | 22 | | 24 | 15 | 30 | 20 |
| 8,5 | 18,5 | 11 | 21,5 | 14 | 23,5 | | 25,5 | 17,25 | 31,50 | 22 |
| *après rupture par flexion.* | | | | | | | | | | |
| | $26^{m}/^{m}$ | | $28^{m}/^{m}$ | | $29^{m}/^{m}$ | | $30^{m}/^{m}$ | $20^{m}/^{m}$ | $35^{m}/^{m}$ | $27^{m}/^{m}$ |
| | 23 | | 25 | | 20,5 | | 27,75 | 18 | 34 | 26 |
| | 24.75 | | 26,5 | | 27,75 | | 28,75 | 19 | 34,5 | 26,5 |

OBSERVATIONS

Le chiffre inscrit dans les colonnes marquées $a$ indiquent la quantité à laquelle s'est réduite la diminution d'épaisseur des briques après l'enlèvement des charges qui lui ont été successivement appliquées.

Sous une charge de $16^{k},5$ par centimètre carré, les briques gagnent en dimensions, savoir :
sur la longueur, 4 à $5^{m}/^{m}$
sur la largeur, 1 à $2^{m}/^{m}$

Les briques pressées à $46^{k},5$ placées dans l'eau reprennent sensiblement leur volume primitif après 4 heures d'immersion : elles ont alors absorbé 3 à 4 fois leur poids d'eau.

appartements. Le prix est de 70 francs le mille. Leur résistance est suffisante, malgré leur grande légèreté, ainsi que le prouve le tableau ci-après qui donne le résultat d'une série d'expériences faites au laboratoire de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Voir Tableau A).

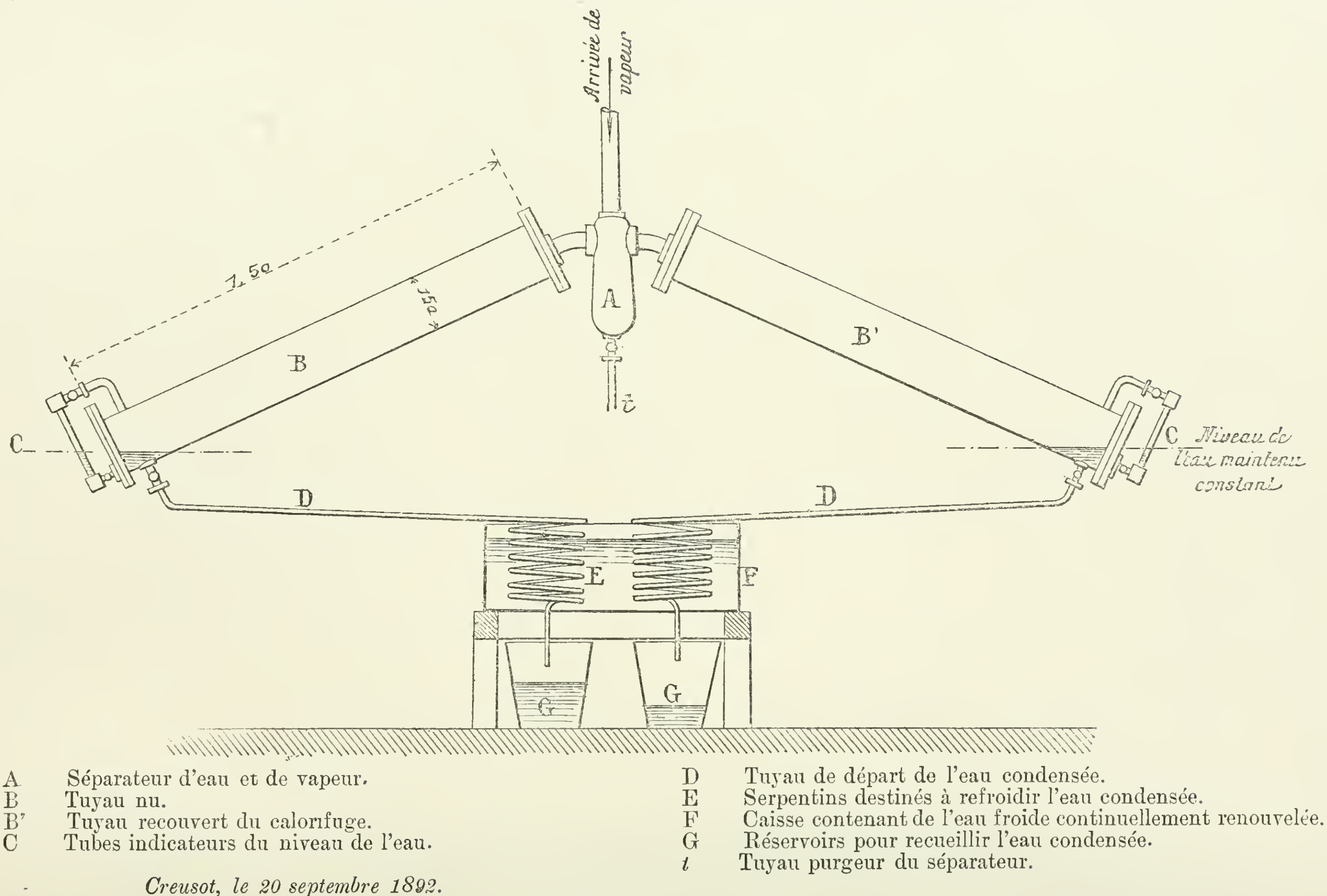
Les essais à l'écartement ont été exécutés entre deux plateaux soumis à l'effort d'une presse hydraulique. Pour les essais par flexion, les briques étaient placées sur deux couteaux espacés de $0^{m},20$ et la charge était appliquée au milieu de la partie à l'aide d'une baguette ronde en métal de $0^{m},01$ de diamètre.

*Plaques.* — M. Ed. Lefèvre fabrique aussi des *plaques* en simili-liège. Ces plaques peuvent servir comme revêtements de murs ou de toits. Elles sont scellées avec du plâtre gâché mélangé de dextrine. Le mortier ordinaire, le mortier de ciment et l'argile, sont aussi des moyens de fixation. S'il faut se préserver contre l'humidité, il est nécessaire d'appliquer par dessus un enduit au goudron de gaz.

Pour les toitures, les plaques se posent sur lattis à l'aide de vis à bois ou de clous à tête plate.

Pour les planchers, les plaques se posent à bain de plâtre.

*Croquis de l'installation des appareils pour essais d'enveloppes calorifuges.*




A Séparateur d'eau et de vapeur.
B Tuyau nu.
B' Tuyau recouvert du calorifuge.
C Tubes indicateurs du niveau de l'eau.
D Tuyau de départ de l'eau condensée.
E Serpentins destinés à refroidir l'eau condensée.
F Caisse contenant de l'eau froide continuellement renouvelée.
G Réservoirs pour recueillir l'eau condensée.
t Tuyau purgeur du séparateur.

*Creusot, le 20 septembre 1892.*

## TABLEAU B

*Résultats des expériences de Condensation sur le Simili - Liège.*

| ÉPAISSEUR de l'enduit | DURÉE de l'essai | TEMPÉRATURE de la vapeur | TEMPÉRATURE extérieure | DIFFÉRENCE des températures | POIDS condensé par $m^2$ et par heure sur le tuyau nu. | POIDS condensé par $m^2$ et par heure sur le tuyau enveloppé. | ÉCONOMIE due à l'enduit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 2 heures | 155° 1 | 15° 5 | 139° 6 | 6k 643 | 2k 183 | 67. 2 % |
| | 1 h. 3/4 | 153° 8 | 2° 0 | 151° 8 | 7,450 | 2, 230 | 70.07 |
| | 2 h. | 152° 0 | 5° 6 | 146° 4 | 6.725 | 1, 986 | 70. 5 |
| | 3 h. 3/4 | 153° 2 | 8° 0 | 145° 2 | 6, 930 | 2, 061 | 70. 3 |
| | 2 h. | 152° 6 | 10° 0 | 142° 6 | 5, 570 | 1, 597 | 71. 4 |
| Valeurs moyennes | | 153° 3 | 8° 3 | 145° 0 | 6, 660 | 2, 011 | 69. 9 |

Fig. 37

*Mastic pour conduites.* — Le simili-liège sert aussi de corps isolant pour les conduites de vapeur. A cet effet, la maison Ed. Lefèvre fabrique un mastic spécial et des pièces moulées cylindriques ou demi-cylindriques.

Le mastic, délayé dans l'eau chaude, est appliqué à l'aide d'un pinceau, et par couches très légères, sans trop appuyer sur le pinceau. Il faut environ cinq ou six couches, la dernière étant plus épaisse. Ce mastic peut recevoir une couche de peinture. A cet effet, on passe sur la surface induite de mastic, un badigeon de colle argileuse, on enroule dessus une bande de toile très serrée, qu'on enduit également d'un peu de colle, de manière à rendre la surface bien nette, puis on procède à la peinture.

Pour les conduites à l'air libre, il est préférable de recouvrir le mastic avec du carton bitumé que l'on attache avec un fil de fer et que l'on goudronne ensuite.

*Pièces moulées demi-cylindriques.* — Au lieu de plusieurs couches de mastic, on peut n'employer qu'une couche de 5 millimètres d'épaisseur, et rapporter dessus des pièces demi-cylindriques en simili-liège que l'on attache provisoirement tous les dix ou quinze centimètres avec du fil de fer galvanisé de un millimètre de diamètre. La chaleur fait ouvrir les joints, le simili-liège se rétrécissant, après dessiccation, on serre plus énergiquement les pièces ; puis comme elles n'ont pas repris leur place, on les fait glisser jusqu'à parfait contact. Le jointoyement se fait avec le mastic ; pour la peinture on procède comme plus haut.

Les bouts de la garniture reçoivent des manchons en zinc attachés avec du fil de fer galvanisé ; l'intérieur de ces manchons est garni de plâtre, ce qui empêche l'humidité de pénétrer dans la garniture. Pour les conduites exposées à l'humidité, on recouvre la conduite avec du carton bitumé.

*Plaques articulées.* — M. Ed. Lefèvre fabrique aussi des plaques articulées en simili-liège qu'on coupe de longueur égale à la circonférence à recouvrir, et qu'on pose sur les conduites comme ci-dessus. De préférence, on recouvre le tout avec du mastic imperméable.

Des expériences ont été faites dans les usines du Creusot sur les enveloppes en simili-liège pour apprécier les avantages qu'elles présentent pour diminuer la condensation. Les résultats en sont résumés dans le tableau B (fig. 37).

Il est permis de conclure de ces diverses expressions que le simili-liège est appelé à remplir un rôle important tout à la fois dans la construction et dans l'industrie.

HALLOPEAU et LASCOMBE

# TABLE DES MATIÈRES

## 2e Partie.

## LA CONSTRUCTION

### Etudes sur les essais des fers et des aciers

Rapport de M. E. Cornut.

## Essais à la traction.

Pages

## Résistance des matériaux.



## Examen des différentes causes qui peuvent faire varier les réultats des essais à la traction.

## Sur l'unification des méthodes d'essais des matériaux de construction

Par M. Michel Svilokossitch



## Note sur une méthode n'exigeant pas la mesure de petites dimensions pour la détermination du coefficient et de la limite des allongements permanents des corps métalliques.

Par M. Ed. Philipps.



## De l'emploi des modèles pour déterminer expérimentalement les conditions de résistance des solides élastiques.

Par M. Ed. Philipps.

Pages

## Les matériaux de construction et leur emploi

Par MM. Hallopeau et Lascombe.

## Asphaltes et bitume



## Sables

# INDEX ALPHABÉTIQUE

## A



## B



## C



## D



## F



## G



## H



## J

## K



## L



## M



## N



## P



## Q



## R



## S



## T



## V



## W

